Meßgeräte und Schaltungen für

Wechselstrom-Leistungsmessungen

Von

Werner Skirl

Oberingenieur

Mit 215 Abbildungen

Berlin

Verlag von Julius Springer

1920

Vorwort.

Das vorliegende Buch ist für den ausführenden Ingenieur geschrieben, es wird aber auch dem Studierenden beim Einarbeiten in die Meßkunde gute Dienste leisten. Die Behandlungsweise der einzelnen Meßschaltungen ist unmittelbar auf die Anforderungen der Praxis zugeschnitten. Der ausführende Ingenieur will nicht ausführliche theoretische Abhandlungen lesen und sich die besonderen Meßschaltungen aus allgemeinen Gesichtspunkten heraus selbst entwickeln, sondern er wünscht alles, was er zur Ausführung der Messung und Auswertung der Meßergebnisse wissen muß, in möglichst kurzer und klarer Weise fertig vorzufinden. Aus diesem Grunde sind neben den einzelnen Meßschaltungen stets alle erforderlichen Formeln und sonstigen Hinweise angegeben.

Bei der Besprechung der verschiedenen Meßmethoden ist den Meßschaltungen für Hochspannung mit Strom- und Spannungswandlern ein besonders breiter Raum gewährt, da über diese indirekten Messungen in der Literatur wenig Material vorhanden ist und hierbei so viele neue Gesichtspunkte hinzukommen, daß eine ausführliche Behandlung gerechtfertigt ist. Die Vorteile, die sich aus der Benutzung von Stromwandlern bei Hochspannungsmessungen ergeben, ließen es wünschenswert erscheinen, die Stromwandler auch bei Niederspannungsmessungen allgemein zu verwenden. Dies führte zu den halb indirekten Messungen, bei denen die Stromwandler in ähnlicher Weise wie die Nebenschlüsse bei Gleichstrominstrumenten lediglich als Meßbereichwähler dienen. Gerade diese letztgenannte Methode ist noch recht wenig bekannt, verdiente aber in der Praxis allgemein angewandt zu werden. Besonderes Interesse wird auch der Abschnitt über Wechselstrom-Eichschaltungen finden.

Im ersten Teile des Buches sind auch die für die Leistungsmessungen erforderlichen Meßgeräte beschrieben. Hierbei war ebenfalls der Gesichtspunkt maßgebend, daß den ausführenden Ingenieur das Innere der Meßinstrumente nur insoweit interessiert, als sich hieraus für die

sachgemäße Benutzung der Meßinstrumente besondere Vorschriften ergeben. Als Anhang ist dem Buch noch ein Abschnitt über Präzisionsinstrumente für Gleichstrom beigefügt. Dieser wird sehr vielen Lesern willkommen sein, da bei den Messungen an Wechselstrom-Maschinen auch Gleichstrom-Messungen vorzunehmen sind und die Gleichstrom-Instrumente zur Kontrolle und Nacheichung der Wechselstrominstrumente benutzt werden. Da das vorliegende Buch aus einer Reihe von Technischen Anweisungen entstanden ist, die der Verfasser für die Firma Siemens & Halske geschrieben hat, sind in dem Buch nur Erzeugnisse dieser Firma beschrieben. Hierin kann jedoch kaum ein wesentlicher Nachteil erblickt werden, da der Stoff so behandelt ist, daß er, abgesehen von konstruktiven Besonderheiten der einzelnen Instrumente, allgemeine Gültigkeit hat. Das Buch ist aus der Praxis entstanden und für die Praxis bestimmt, es möge daher auch seinen Weg in die Praxis finden.

Charlottenburg, Januar 1920

Werner Skirl.

Inhalt.

I. Teil. Meßgeräte.

II. Teil. Meßschaltungen.

Anhang.

I. Teil.

Meßgeräte.

A. Allgemeine Betrachtungen über die mit Zeigerinstrumenten erreichbare Meßgenauigkeit.

Die mit einem Zeigerinstrument erreichbare Meßgenauigkeit hangt nicht nur von den elektrischen, sondern in sehr hohem Grade auch von den mechanischen Eigenschaften des Meßsystems ab Da im allgemeinen die Bedingungen fur die elektrische und die mechanische Gute einander widersprechen, kann die Verbesserung der elektrischen Eigenschaften nur auf Kosten der mechanischen Eigenschaften erfolgen und umgekehrt Man wird daher bei der Ausfuhrung eines Instruments stets einen mittleren Weg gehen mussen, der verschieden liegen muß, je nachdem ob ein Instrument mit hoher Meßgenauigkeit, also hoher elektrischer Gute, oder ein Instrument mit geringerer Meßgenauigkeit gefordert wird Die elektrische Gute eines Instruments ist von vornherein durch die Type des Instruments festgelegt Sie hangt im wesentlichen von der inneren Schaltung und ihren elektrischen Widerstanden ab und ist im allgemeinen unveranderlich, solange das Instrument nicht beschadigt ist Die mechanischen Eigenschaften des Instruments andern sich dagegen im Gebrauch dauernd Sie hangen nicht nur von der Art des Instruments, sondern auch wesentlich von der Behandlung durch den Benutzer ab Da fur die mechanischen Eigenschaften bei allen Instrumenttypen die gleichen Gesichtspunkte gelten, soll im folgenden zunachst nur auf diese naher eingegangen und die Besprechung der elektrischen Eigenschaften auf das Notwendigste beschrankt werden Eine eingehende Besprechung der elektrischen Eigenschaften soll erst spater an Hand der Innenschaltung bei den einzelnen Instrumenttypen erfolgen

a) Mechanische Fehler des beweglichen Systems.

Die Sicherheit der Einstellung eines beweglichen Meßsystems hängt in erster Linie von dem Quotienten

Drehmoment durch Systemgewicht

ab. Je größer das Drehmoment und je kleiner das Systemgewicht ist, desto sicherer wird sich das Meßsystem unter sonst gleichen Verhältnissen einstellen. Die Größe des Drehmoments hängt von den elektrischen Daten des Instruments, also von der zur Verfügung stehenden Energie ab. Es wird bei einem Präzisionsinstrument, das nur einen kleinen Energieverbrauch aufweisen soll, wesentlich kleiner sein müssen, als bei einem Betriebsinstrument, bei dem eine größere Energiemenge zur Verfügung steht. Die Größe des Systemgewichts hängt im wesentlichen von der Art des Meßsystems und seiner Ausführung ab. Man wird das Gewicht so klein wählen, wie es die mechanische Festigkeit des Systems zuläßt, um auf diese Weise bei der für das Meßsystem zur Verfügung stehenden Energie die größtmögliche Einstellsicherheit zu erreichen. Der Wert des Quotienten Drehmoment durch Systemgewicht, den man allgemein als den mechanischen Gütefaktor des Meßsystems bezeichnet, liegt bei Präzisionsinstrumenten zwischen 0,05 und etwa 0,15, bei Schalttafelinstrumenten etwas höher, etwa bei 0,2 bis 0,4. Da in dem Gütefaktor die übrigen mechanischen Verhältnisse des Meßsystems nicht berücksichtigt sind, kann der Gütefaktor nur bei vollkommen gleichartig gebauten Instrumenten für die mechanische Güte des Instruments maßgebend sein. Bei der Beurteilung verschieden gebauter Instrumente muß stets noch die Art und Ausführung der Lagerung berücksichtigt werden.

Die Art der Lagerung der Systemachse ist für die Reibungsverhältnisse von einschneidender Bedeutung. Bei senkrechter Lagerung der Systemachse ergibt sich die kleinste Lagerreibung, daher führt man die Präzisionsinstrumente fast ausschließlich mit senkrechter Systemachse aus. Bei wagerechter Systemachse lassen sich ähnlich günstige Reibungsverhältnisse nicht erzielen, daher kann eine wagerechte Systemachse nur für weniger genaue Betriebsinstrumente in Frage kommen. Die Lagerung selbst wird meistenteils so ausgeführt, daß an dem beweglichen System polierte Stahlspitzen angebracht sind, die in geschliffenen Edelsteinen laufen. Die Lagerspitzen und Lagersteine müssen mit denkbar größter Vorsicht bearbeitet werden, da selbst geringe, nur unter dem Vergrößerungsglas wahrnehmbare Beschädigungen der Spitzen oder Steine sehr leicht eine unzulässige Vergrößerung der Reibungsfehler zur

Folge haben Die Beseitigung derartiger, etwa durch derbe Stoße auf dem Transport oder grobe Behandlung verursachten Reibungsfehler ist in den meisten Fallen recht kostspielig, da außer den eigentlichen Instandsetzungskosten fur die Erneuerung der Spitzen und Steine noch erhebliche Kosten fur die erforderliche Neuabgleichung des Systems entstehen Die Große der Reibungsfehler an einem fertigen Instrument mißt man durch den Skalenbogen in Millimetern um die der Zeigerausschlag infolge der Reibung von dem richtigen Wert des Ausschlags abweicht Sagt man z B , ein Instrument hat 1 mm Reibung, so heißt dies, der Zeigerausschlag weicht infolge der Reibung um ein Millimeter vom richtigen Wert ab Man kann sich bei Niederspannungsmessungen von dem Reibungsfehler unabhangig machen, indem man beim Ablesen leicht auf das Instrument klopft

Außer den Reibungsfehlern sind bei der Beurteilung eines Instrumentes noch die etwaigen Fehler der mechanischen Auswagung zu berucksichtigen Das bewegliche System eines Meßinstruments muß derart ausgewogen sein, daß der Schwerpunkt des Systems auf die Systemachse fallt Der auf Null stehende Zeiger muß dann in allen Lagen des Instruments auf Null stehen bleiben Bei den Prazisionsinstrumenten mit senkrechter Systemachse sind etwaige kleine Auswagungsfehler belanglos, sofern die Systemachse genau senkrecht steht, also das Instrument auf einer wagerechten Tischflache aufgestellt ist Bei etwaiger Neigung des Instruments dagegen konnen durch die Auswagungsfehler recht wohl Meßfehler verursacht werden, zumal da hierbei die Auswagung noch durch einseitiges Durchhangen der Systemfedern gestort werden kann Um Meßfehler zu vermeiden, empfiehlt es sich daher, Prazisionsinstrumente nur in annahernd wagerechter Lage zu benutzen Bei den Betriebsinstrumenten mit geringerer Meßgenauigkeit sind kleine Auswagungsfehler von geringerer Bedeutung, zumal da die hierdurch entstehenden Meßfehler durch die Nullpunkteinstellvorrichtung praktisch behoben werden konnen

b) Skalenfehler.

Außer den vorher genannten mechanischen Fehlern des beweglichen Meßsystems sind noch die etwaigen Skalenfehler zu berucksichtigen Zunachst entstehen durch die Ungenauigkeit der zur Eichung benutzten Normalinstrumente, sowie durch fehlerhaftes Ablesen schon bei der Eichung des Instruments kleine Fehler, die durch sorgfaltige Arbeit und genaue Kontrolle der Normalinstrumente wohl sehr herabgesetzt,

aber niemals ganz vermieden werden konnen Bei der Eichung wird die Skala an 10 bis 15 Punkten durch direktes Vergleichen mit dem Normalinstrument empirisch aufgenommen Die weitere Unterteilung der Skala erfolgt willkurlich, meist wird das zwischen zwei aufgenommenen Punkten liegende Intervall proportional unterteilt Schon bei der Aufzeichnung der bei der Eichung aufgenommenen Punkte konnen Zeichenfehler entstehen Weiterhin sind aber auch bei der Unterteilung der zwischen diesen Punkten liegenden Zwischenraume Zeichenfehler nicht zu vermeiden Hierzu kommt noch, daß die proportionale Unterteilung der zwischen zwei aufgenommenen Punkten liegenden Abschnitte gar nicht in jedem Falle dem Skalencharakter entspricht Die erreichbare Ablesegenauigkeit eines Instruments hangt einmal von der Art der Teilung der Skala, zum andern aber von der Ausfuhrung des Zeigers ab Am gunstigsten ist eine gleichmaßig geteilte Skala, da man hierbei mit großer Sicherheit die zwischen den einzelnen Teilstrichen liegenden Werte abschatzen kann Bei Prazisionsinstrumenten unterteilt man die Skala so, daß der Wert eines Skalenteiles nicht mehr als etwa 1 bis 1,5 mm betragt Der Zeiger wird hierbei als Schneidenzeiger ausgefuhrt Zur Vermeidung der durch Parallaxe entstehenden Fehler erhalt die Skala eine Spiegelunterlage Man liest dann so ab, daß das Spiegelbild des Zeigers vom Zeiger verdeckt wird Bei einer derartig ausgefuhrten Skala kann ein geubter Beobachter mit ziemlicher Sicherheit noch Zehntel eines Skalenteiles ablesen oder schatzen Es ist wohl selbstverstandlich, daß es zwecklos ware, die auf diese Weise erzielte Ablesegenauigkeit großer zu machen als die durch Reibungs- und Auswagungsverhaltnisse bedingte Einstellgenauigkeit des Zeigers Es ware daher widersinnig, etwa ein Betriebsinstrument mit horizontaler Systemachse und Fahnenzeiger durch einen Skalenspiegel verbessern zu wollen

c) Gesamtfehler.

Die gesamten Meßfehler eines Zeigerinstruments werden meistens in Prozenten des Skalenendwertes angegeben Die Angabe in Prozenten des Sollwertes, die vielleicht auf den ersten Blick praktischer erscheint, gibt zu Schwierigkeiten Anlaß, da die prozentualen Fehler an verschiedenen Stellen der Skala verschieden groß sind Betragt z B der großte Fehler eines Prazisionsinstruments 0,1 % des Skalenendwertes, so entspricht dies unter Voraussetzung einer 100-teiligen Skala einer Fehlergrenze von 0,1 Teilstrich, die uber den ganzen Meßbereich

konstant ist Bei vollem Zeigerausschlag betragt dann der prozentuale Meßfehler 0,1 % des Sollwertes, beim halben Ausschlag dagegen 0,2 % und bei 10 Teilstrichen sogar 1 % des Sollwertes Die Fehler in Prozenten des Sollwertes werden demnach um so großer, je kleiner der Zeigerausschlag wird Aus diesem Grunde schreibt die Physikalisch-Technische Reichsanstalt auch vor, daß fur genaue Messungen stets nur die letzten 2/3 der Skala benutzt werden sollen Die erreichbare Meßgenauigkeit betragt bei Prazisionsinstrumenten etwa 0,1 bis 0,15 %, bei Betriebsinstrumenten etwa 1 bis 2 % des Skalenendwertes

d) Korrektionstabellen.

Die an einem fertigen Prazisionsinstrument etwa noch nachweisbaren Skalenfehler werden durch Anbringen von Korrekturen nach Moglichkeit verbessert Diese Korrekturen, die allerdings nur fur besonders genaue Messungen in Frage kommen, werden von 10 zu 10 Teilstrichen aufgenommen und, in einer Korrektionstabelle zusammengestellt, dem Instrument beigegeben Fur die Zwischenwerte kann man sinngemaß interpolieren Beim Anbringen der Korrekturen ist das Folgende zu beachten

Um aus der **Ablesung des Instruments** den richtigen Wert zu erhalten, sind die in der Korrektionstabelle angegebenen Werte je nach ihrem Vorzeichen zu den abgelesenen Werten zu addieren bzw von ihnen zu subtrahieren. Vorausgesetzt ist hierbei, daß der Zeiger des stromlosen Instruments genau auf Null zeigt Ist dies nicht der Fall, so ist der Zeiger vorher mit der Nullpunkteinstellvorrichtung richtig auf Null einzustellen

Beispiel

Hat man an einem Instrument genau 50,1 Skalenteile abgelesen und steht in der Korrektionstabelle bei Skalenteil 50 eine Korrektur von —0,1, so ist der richtige Wert 50,0

Bei der **Einstellung des Instruments** auf einen bestimmten Strom- oder Spannungswert sind die in der Korrektionstabelle angegebenen bzw interpolierten Korrekturwerte mit entgegengesetztem Vorzeichen anzubringen

Beispiel:

Ein Instrument soll zwecks Vergleiches mit einem anderen Instrument auf einen bestimmten Stromwert eingestellt werden, der unter Berucksichtigung der Instrumentkonstante einem Ausschlag von genau

50,0 Skalenteilen entspricht In der Korrektionstabelle steht bei Skalenteil 50 eine Korrektur — 0,1 Da die Korrektur in diesem Falle mit entgegengesetztem Vorzeichen anzubringen ist, muß das Instrument auf 50,1 Skalenteile eingestellt werden

Nach den Vorschriften der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durfen die Instrumentangaben bei Prazisionsinstrumenten I Klasse nicht mehr als 1/3 Skalenteil von den richtigen Werten abweichen Demgemaß durfen die in der Korrektionstabelle auftretenden Korrekturwerte auch nicht großer als ± 0,3 Skalenteile sein Man wird in der Fabrikation diese Grenze vielleicht noch etwas enger stecken, um noch ein gewisses Spiel zu haben Es hat aber keinen Wert, etwa die Genauigkeit so weit treiben zu wollen, daß man auf eine Korrektionstabelle vollkommen verzichten kann Wenn man auch die Korrektionstabelle nur in seltenen Fallen bei besonders genauen Messungen benutzt, so wird diese doch stets bei etwaigen Nacheichungen des Instruments einen Anhaltspunkt uber kleine Veranderungen geben Korrekturen werden immer erforderlich sein, denn absolut richtig zeigende Instrumente gibt es nicht

---

B. Tragbare Laboratoriums-Instrumente.

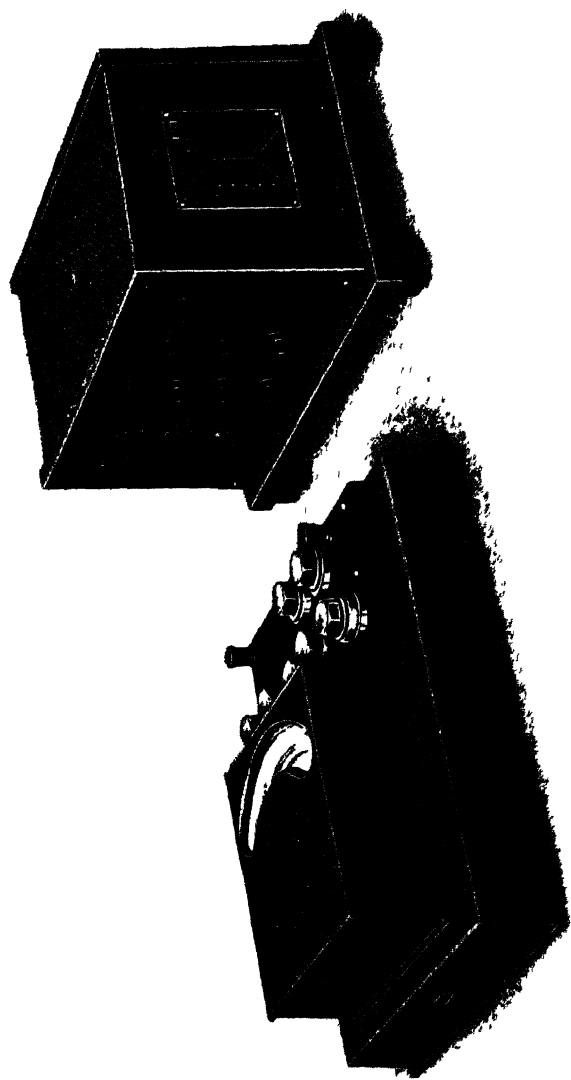
1. Allgemeines.

a) Anwendungsgebiet der Laboratoriumstype.

Die Instrumente der Laboratoriumstype sind in erster Linie fur wissenschaftliche Messungen im Laboratorium sowie fur Spezialmessungen unter besonders schwierigen Betriebsverhaltnissen bestimmt, z B fur Messungen mit außergewohnlich kleinen Leistungsfaktoren (Zahlerprufungen) oder Messungen, bei denen eine erhebliche Gleichstromkomponente und daher eine zur Nullachse unsymmetrische Wechselstromkurve zu erwarten ist Um bei diesen Messungen alle Fehlerquellen nach Moglichkeit auszuschließen, sind die Instrumente fur direkte Einschaltung in den Stromkreis ohne Verwendung von Meßwandlern eingerichtet Die Strommeßbereiche der Instrumente gehen von 0,5 Amp herauf bis zu 400 Amp Fur die direkte Spannungsmessung gibt es praktisch keine obere Grenze, da samtliche Instrumente dieser Type mit Hochspannungsausrustung versehen sind Bei den normalen Ausfuhrungen sind Widerstande fur Spannungen bis 6000 Volt vorgesehen Die Angaben der Instrumente sind fur einen Frequenzbereich von 5 bis 80 Perioden in der Sekunde zuverlassig

Bei Hochfrequenz bis herauf zu etwa 1000 Perioden in der Sekunde ist fur Leistungsmessungen eine Sonderausfuhrung der Laboratoriumstype mit besonderen außenliegenden Vorschaltwiderstanden zu benutzen Fur Strom- und Spannungsmessungen verwendet man bei diesen hohen Frequenzen zweckmaßig Hitzdraht-Instrumente

b) Meßprinzip.

Die Instrumente der Laboratoriumstype sind nach dem Prinzip des Elektrodynamometers gebaut, sie beruhen also auf der mechanischen Kraftwirkung, die zwei stromdurchflossene Spulen aufeinander ausuben Die eine dieser beiden Spulen ist feststehend angeordnet, wahrend die andere Spule im magnetischen Felde der festen Spule drehbar gelagert ist Die Stromzufuhrung zu der Drehspule erfolgt durch zwei Systemfedern, die gleichzeitig die mechanische Gegenkraft fur das System liefern Das Meßsystem ist ohne Benutzung von Eisen aufgebaut, die System-Kraftlinien verlaufen daher auf ihrem ganzen Wege durch die Luft

Präzisions-Leistungsmesser der Laboratoriumstype mit außenliegendem Vorschaltwiderstand

c) Charakteristische Eigenschaften des Systems.

Die Große der vom System ausgeubten mechanischen Kraft ist dem Produkt der in beiden Spulen fließenden Strome proportional Da die von diesen Stromen erzeugten magnetischen Felder verhaltnismaßig schwach sind, ist auch die erzeugte Kraft, also das **Drehmoment,** nur klein Um hierbei eine unsichere Zeigereinstellung zu vermeiden, werden die eisenlosen Drehspul-Instrumente nur mit senkrecht stehender Systemachse ausgefuhrt

Die Richtung der Systemkraft, also die **Ausschlagsrichtung** des Zeigers, andert sich nicht, wenn die Stromrichtung in beiden Systemspulen gleichzeitig geandert wird Die Instrumente sind daher ohne weiteres fur Gleichstrom und Wechselstrom verwendbar Durch Vermeidung bzw geschickte Anordnung der Metallteile ist erreicht, daß die Angaben des Instruments bei Wechselstrom genau die gleichen sind wie bei Gleichstrom

Da die wirksamen Magnetfelder im Instrument verhaltnismaßig klein sind, konnen **fremde Magnetfelder** das Instrument unter Umstanden leicht beeinflussen Um die hierdurch entstehenden Meßfehler zu vermeiden, muß man bei dem Aufbau der Meßschaltung die auf Seite 22 angegebenen Gesichtspunkte beachten

Die Angaben der Instrumente sind innerhalb weiter Grenzen von der **Frequenz** unabhangig (vgl Seite 19) Auch die **Kurvenform** beeinflußt die Instrumentangaben nicht Innerhalb der Spannungsmeßbereiche sind beliebig große **Spannungsanderungen** zulassig, ohne daß hierdurch Fehler entstehen

d) Verwendung der Instrumente fur Wechselstrom und Gleichstrom.

Da die Instrumente der Laboratoriumstype, wie schon oben gesagt, sowohl bei Wechselstrom als auch bei Gleichstrom richtig anzeigen, ergibt sich der wesentliche Vorteil, daß man sie mit Gleichstrom eichen und dann bei Wechselstrom-Messungen verwenden kann

Bei **der Eichung der Instrumente mit Gleichstrom** ist auf das Erdfeld und auf sonstige fremde gleichgerichtete Magnetfelder Rucksicht zu nehmen Dies geschieht durch Wendung des Stromes in der feststehenden und in der beweglichen Spule des Instruments Der Mittelwert aus den beiden Ablesungen ist dann der richtige Wert,

sofern sich das storende Feld in der Zeit zwischen den Messungen nicht geandert hat

Fur **betriebsmaßige Gleichstrom-Messungen** sind die elektrodynamischen Meßinstrumente weniger geeignet, da die Wendung des Instrumentstromes, die im Laboratorium keine Schwierigkeiten bereitet, im Betrieb recht unbequem ist und zu Unsicherheiten Anlaß gibt Man verwendet daher fur Gleichstrom-Messungen, wenn irgend moglich, nur Drehspul-Instrumente mit Dauermagneten

Bei **Wechselstrom-Messungen** heben sich die Einwirkungen aller gleichgerichteten fremden Felder auf, jedoch ist das Instrument durch geeignete Aufstellung gegen vorhandene Wechselfelder gleicher Frequenz zu schutzen

e) Hochspannungs-Einrichtung.

Um die bei direkten Hochspannungsmessungen auftretenden Storungen der Instrumente durch elektrische Ladungserscheinungen zu vermeiden, werden neuerdings samtliche dynamometrischen Meßinstrumente der Laboratoriumstype mit einer besonderen Hochspannungseinrichtung ausgerustet Diese besteht im wesentlichen darin, daß alle innerhalb des Instruments befindlichen Metallteile durch direkte Verbindung auf gleiches Potential gebracht werden und das ganze System durch zweckentsprechend angebrachte Metallflachen eingeschlossen wird, so daß das bewegliche System infolge des umgebenden Schirmes nicht in elektrische Wechselwirkung mit außerhalb befindlichen Leitern treten kann

f) Aufstellung der Meßgerate.

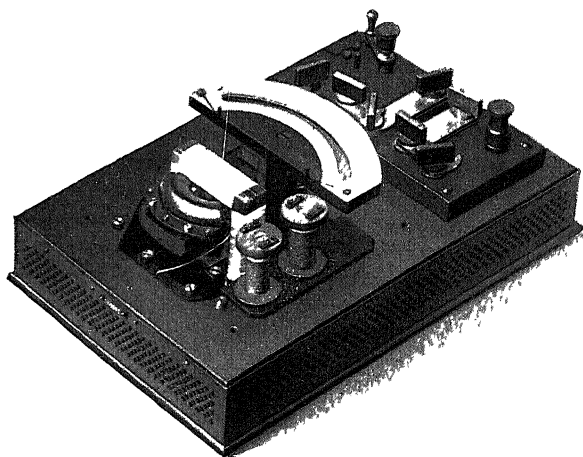
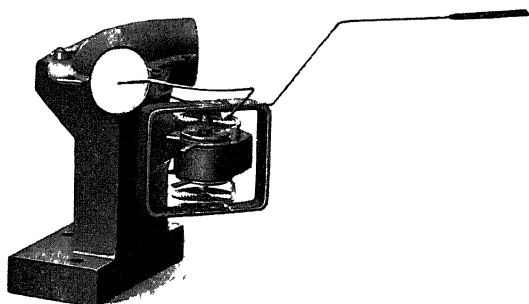
Bei der Messung sollen die **Meßinstrumente** auf einem annahernd horizontalen Tisch liegen (vgl Seite 15) Das Putzen der Glasscheibe des Instruments unmittelbar vor der Messung ist zu vermeiden, da durch das Reiben mit einem trockenen Tuch leicht elektrostatische Ladungen hervorgerufen werden konnen, die den Zeigerausschlag beeinflussen Man beseitigt etwaige Ladungen durch leichtes Anhauchen der Glasscheibe

Um die gegenseitige Beeinflussung der dynamometrischen Instrumente zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Instrumente der Laboratoriumstype in Abstanden von etwa 40 cm von Mitte zu Mitte auf-

zustellen Die bei großeren Stromstarken auftretenden Beeinflussungen durch die Zufuhrungsleitungen vermeidet man dadurch, daß die Hin- und Ruckleitungen moglichst dicht nebeneinander verlegt werden Andere Apparate, die starkere magnetische Felder erzeugen, z B Meß-wandler, durfen nicht in unmittelbarer Nahe der Instrumente stehen Ebenso vermeide man die Nahe Starkstrom fuhrender Leitungen

Bei direkter Einschaltung in Hochspannungskreise mit Spannungen von mehr als 1000 Volt ist eine isolierte Aufstellung der Meßinstrumente erforderlich Diese Isolierung erfolgt am besten durch Zwischenlegen einer Ebonit- oder Glasplatte zwischen Tischplatte und Instrument Bei sehr hohen Spannungen empfiehlt es sich, die Instrumente auf Porzellanisolatoren (Isolierschemeln) aufzustellen und zum Schutz des Beobachters mit einer Glasplatte zu uberdecken Naturgemaß ist bei Hochspannung jede Beruhrung der Instrumente lebensgefahrlich

Die **Isolation der Vorschaltwiderstande** gegen Erde ist derart bemessen, daß alle normalen Widerstande fur Spannungen bis 6000 Volt fur die volle Betriebsspannung genugend isoliert sind Bei Serien-schaltung von mehreren Widerstandskasten fur Spannungen uber 6000 Volt sind die Widerstande isoliert aufzustellen Die Isolierung der einzelnen Kasten sowohl gegeneinander als auch gegen Erde ist hierbei fur die volle Betriebsspannung zu bemessen

---

Innenansicht des Präzisions-Leistungsmessers der Laboratoriumstype

Drehspule des Leistungsmessers mit Luftdampfung und Zeiger

2. Präzisions-Leistungsmesser der Laboratoriumstype.

a) Aufbau des Meßsystems

Die vom Hauptstrom durchflossene Stromspule des Leistungsmessers ist feststehend angeordnet Im Hohlraum dieser Spule befindet sich die als Drehspule ausgebildete Spannungsspule, die an die zu messende Spannung angeschlossen wird Bei dem mechanischen Aufbau des aus diesen beiden Spulen gebildeten Meßsystems sind alle großeren Metallkonstruktionsteile vermieden, damit Wirbelstrombildungen, die zu Meßfehlern Anlaß geben konnten, von vornherein ausgeschlossen sind Dies ist gerade bei den Leistungsmessern von besonderer Wichtigkeit, da hier die Strome in der Stromspule und der Spannungsspule meistens nicht in Phase sind, sondern oft recht erhebliche Phasenverschiebungen aufweisen Da der induzierte Wirbelstrom wegen der geringen Induktivitat des Wirbelstromkreises stets um annahernd 90° hinter dem induzierenden Strome zuruckbleibt, wurde ein von der feststehenden Stromspule in irgendeinem Metall-Konstruktionsteil induzierter Wechselstrom die bewegliche Spannungsspule um so mehr beeinflussen, je großer die Phasenverschiebung zwischen dem zu messenden Strome und der zu messenden Spannung ist Um die Leistungsmesser auch fur sehr kleine Leistungsfaktoren brauchbar zu machen, hat man großere Konstruktionsteile aus Metall ganz vermieden und durch gepreßte Isolierstucke ersetzt

Die Zeigerbewegungen werden durch eine kraftig wirkende Luftdampfung so gedampft, daß eine fast aperiodische Zeigereinstellung erzielt wird Die Luftdampfung besteht aus einem kreisformig gebogenen, einseitig geschlossenen Rohr, in dem sich ein am beweglichen System befestigter Kolben mit geringem Spiel bewegt

b) Innere Schaltung der Stromspule.

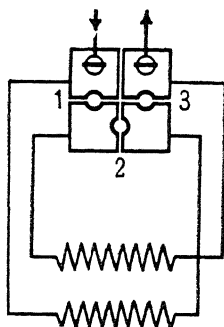
Die Stromspulen der Leistungsmesser sind fur kleinere Stromstarken (bis 25 Ampere) aus Kupferdraht, fur großere Stromstarken (bis 100

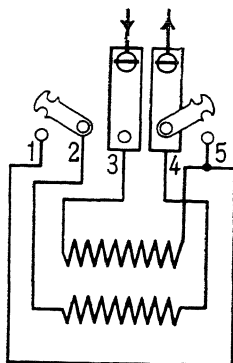
Ampere) aus Kupferband gewickelt Fur Strome uber 100 Ampere wird die Stromspule aus gestanzten, hochkantig stehenden Kupferblechen zusammengesetzt

Zur Beseitigung der bei diesen großen Stromstarken in der Stromspule auftretenden Phasenfehler erhalten die Stromspulen eine sogenannte Kompensationswickelung, die aus einer in sich geschlossenen Kurzschlußwindung besteht Auf diese Weise wird erreicht, daß die Leistungsmesser bei den großten Strommeßbereichen ebenso einwandfrei arbeiten wie bei den kleinsten Um den Gesamtmeßbereich der einzelnen Instrumente moglichst zu erweitern, erhalten die Instrumente der Laboratoriumstype stets zwei Strommeßbereiche Die Stromspulen sind zu diesem Zwecke in zwei Halften unterteilt, die mittels eines Umschalters in Reihe oder parallel geschaltet werden konnen Man erhalt auf diese Weise zwei Strommeßbereiche, die sich wie 1 2 verhalten Die Umschaltung der beiden Spulenhalften erfolgt bei den Leistungsmessern bis zu Stromstarken von 25 Ampere durch Stopsel, bei den hoheren Meßbereichen aber durch Laschen, da sich hier bei dem kleinen Eigenwiderstande des Systems die erforderliche gleichmaßige Stromverteilung auf beide Spulenhalften wegen der auftretenden Ubergangswiderstande nicht mehr mit Sicherheit durch Stopsel erreichen laßt Die Art der Umschaltung ist aus den nebenstehenden Schaltbildern ersichtlich

Bei beiden Umschaltvorrichtungen ist es unbedingt erforderlich, daß vor dem Einschalten ein Meßbereich eingestellt ist, da sonst eine Beschadigung des Instruments durch Zerstorung der zwischen den beiden Halften der Stromspule liegenden Isolation eintreten kann

Die im oberen Schaltbild (S 27) dargestellte **Stopselumschaltung** hat den Vorzug, daß sie leichter zu bedienen ist, und daß sich alle Umschaltungen unter Strom vornehmen lassen Um ohne Stromunterbrechung von einem Strommeßbereich zum andern ubergehen zu konnen, ist es erforderlich, zuerst alle drei Stopsel zu stecken Man zieht dann entsprechend dem gewunschten Meßbereich entweder Stopsel 2, oder 1 und 3 Unter keinen Umstanden durfen alle drei Stopsel gleichzeitig gezogen sein, da hierdurch der Hauptstromkreis unterbrochen wird

Der im unteren Schaltbild dargestellte **Laschenumschalter** ist in erster Linie fur stromlose Umschaltung bestimmt Bei Niederspannung ist jedoch auch eine Umschaltung unter Strom moglich, wenn man in folgender Weise verfahrt

Stopselumschalter fur Strome bis 25 Ampere

Stopsel 2	gesteckt	Reihenschaltung der Spulenhalften, also kleiner Strommeßbereich
„ 1 u 3	„	Parallelschaltung der Spulenhalften, also großer Strommeßbereich
„ 1, 2 u 3	„	Stromspulen kurzgeschlossen

Laschenumschalter fur hohere Stromstarken

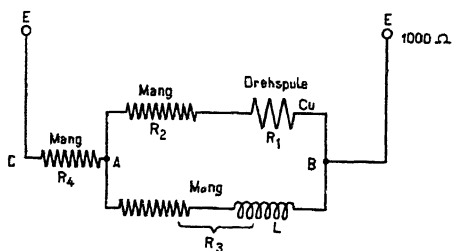
Lasche 1—2	Reihenschaltung der Spulenhalften, also kleiner Strommeßbereich,
„ 2-3 u 4-5	Parallelschaltung der Spulenhalften, also großer Strommeßbereich
„ 3—4	Stromklemmen kurzgeschlossen

Beim Ubergang zum großeren Meßbereich, d h wenn zuerst 1—2 verbunden ist, schließt man zunachst 4—5, dann offnet man die Ver=bindung 1—2 und verbindet schließlich 2—3

Beim Ubergang zu dem kleineren Meßbereich, also wenn vorher 2—3 und 4—5 verbunden sind, offnet man zuerst 2—3, schließt hier=auf 1—2 und offnet dann 4—5 Es ist wohl selbstverstandlich, daß man bei Umschaltung unter Strom die entsprechende Vorsicht walten laßt

Bei Hochspannung ist eine Umschaltung unter Strom wegen der damit verbundenen Gefahr fur den Beobachter nicht zulassig Man muß hierbei vielmehr das Instrument vor der Umschaltung durch allpolige Abschaltung vom Netz auch spannungslos machen Zum Abschalten der Stromklemmen benutzt man einen Hochspannungs=Abschalter (vgl Seite 155) Den Spannungskreis schaltet man durch Herausnehmen der Hochspannungs=Sicherungen ab

c) Innere Schaltung des Spannungskreises.

Die drehbare Spannungsspule liegt in einer Kunstschaltung, durch die einerseits die Abgleichung des Spannungskreises auf einen festen Widerstand, andererseits aber die Unabhangigkeit des Instruments von Temperatureinflussen, d i die Temperaturkompensation, erreicht werden soll

Diese Kunstschaltung ist in folgender Weise angeordnet Vor der aus Kupfer gewickelten Spannungsspule liegt zunachst ein Manganin=Vorschaltwiderstand R_2 Parallel zu dieser Reihenschaltung liegt ein weiterer Manganin=Widerstand R_3 Vor dieser Parallelschaltung liegt endlich noch ein gemeinsamer Manganin=Vorschaltwiderstand R_4

Die **Abgleichung** dieser Widerstände geschieht in der nachstehenden Weise. Zunächst wird durch den Widerstand R_1 der Stromverbrauch des Spannungskreises auf genau 30 Milliampere bei vollem Zeigerausschlag des Instruments abgeglichen. Dann wird der Gesamtwiderstand des Spannungskreises durch den gemeinsamen Vorschaltwiderstand R_4 auf genau 1000 Ohm ergänzt. Hierdurch wird erreicht, daß der Spannungskreis aller Präzisions-Leistungsmesser einen festen Wert von 1000 Ohm besitzt. Diesem Widerstandswert entspricht die **1000-Ohm-Klemme** des Leistungsmessers, die zum Anschluß an äußere Vorschaltwiderstände bestimmt ist. Da der Stromverbrauch des Spannungskreises auf 30 Milliampere abgeglichen ist, entspricht einem Widerstande von je 1000 Ohm stets eine Spannung von 30 Volt.

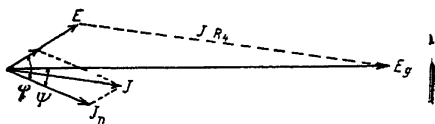
Die **Temperaturkompensation** wird bei dieser Schaltung in der nachstehenden Weise erreicht. Durch die von der Hauptstromspule ausstrahlende Wärme sowie durch die Stromwärme des in der Drehspule fließenden Stromes wird die Drehspule erwärmt. Der Widerstand des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ wächst mit steigender Temperatur, während der Widerstand R_3 konstant bleibt. Der Strom wird also gewissermaßen in den Widerstand R_3 hinübergedrängt. Bleibt der Gesamtstrom des Spannungskreises annähernd gleich groß, so bedingt dies, daß der Zweigstrom im Widerstande R_3 stets annähernd um den gleichen Betrag anwächst, um den der Strom im Drehspulzweige abfällt. Mit dem Anwachsen des Stromes in R_3 wächst aber auch der Spannungsabfall in diesem Widerstand, also die Spannung zwischen den Punkten A und B. Infolge dieser anwachsenden Spannung wird der Strom im Drehspulzweig $R_1 + R_2$ nicht in dem gleichen Maße abfallen, wie man es lediglich aus der Widerstandsänderung folgern würde. Die tatsächliche Größe der Stromänderung in $R_1 + R_2$ hängt von der Größe des Widerstandes R_3 ab, je größer dieser ist, um so kleiner sind die Stromänderungen im Drehspulzweig $R_1 + R_2$. Würde R_3 unendlich groß, so würde die Stromänderung im Zweige $R_1 + R_2$ gleich Null werden. Der Wert von R_3 ist jedoch bereits durch die vorher erwähnte Stromabgleichung bestimmt, es ist daher immer noch mit einem bestimmten, wenn auch recht geringfügigen Abfallen des Stromes in der Drehspule zu rechnen. Der hierdurch entstehende Verlust am Drehmoment wird aber durch das Nachlassen der durch die Wärmestrahlung der Hauptstromspule ebenfalls erwärmten Systemfedern ausgeglichen, so daß die Angaben des Instruments durch die Erwärmung praktisch nicht geändert werden. Allerdings ist hierbei noch die an-

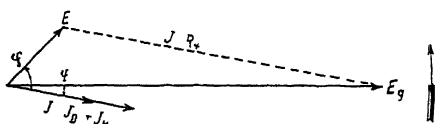
fanglich gemachte Voraussetzung zu erfullen, daß der Gesamtstrom des Spannungskreises stets annahernd gleich groß bleibt Dies ist jedoch in einfacher Weise durch einen entsprechend großen, gemeinsamen Vorschaltwiderstand zu erreichen Der im Instrument zur Abgleichung des Spannungskreises auf 1000 Ohm eingebaute Vorschaltwiderstand R_4 reicht hierfur allein noch nicht aus, deshalb sind auch fur die Benutzung der 1000-Ohm-Klemme als Meßbereich 30 Volt auf Seite 33 entsprechende Vorbehalte gemacht Um die durch die Widerstandsanderung der Drehspule bedingte Anderung des Gesamtstromes praktisch belanglos zu machen, ist vielmehr noch ein außerer bzw eingebauter Vorschaltwiderstand von mindestens 2000 Ohm erforderlich, der einem Meßbereich von 90 Volt entspricht Alle Eichungen und genauen Messungen sind daher mit einem Spannungsmeßbereich von mindestens 90 Volt auszufuhren Bei Verwendung noch großerer Widerstande, also hoherer Spannungsmeßbereiche andert sich das Verhalten der Kompensationsschaltung nur noch ganz unwesentlich, so daß diese Anderungen nicht mehr in Betracht kommen

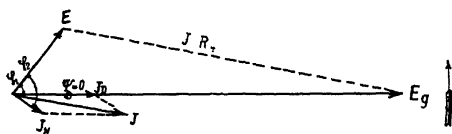
Die **Selbstinduktion** der Drehspule, die etwa 0,005 Henry betragt, wurde bei der vorstehend beschriebenen Schaltung noch einen Phasenfehler im Spannungskreise hervorrufen, der sich bei der Leistungsmessung um so mehr geltend macht, je kleiner der Leistungsfaktor der zu messenden Leistung und je hoher die Frequenz des zu untersuchenden Wechselstromes ist Dieser Phasenfehler wird durch den zur Abgleichung und Temperaturkompensation erforderlichen Nebenschlußwiderstand R_8 besonders vergroßert, da die Phase des Zweigstromes in der Drehspule im wesentlichen von dem Verhaltnis der Impedanz der Drehspule zu dem kleinen Ohmschen Widerstande $R_1 + R_2$ des Drehspulzweiges, dagegen nur sehr wenig von dem meistens sehr hohen Ohmschen Widerstande des Vorschaltwiderstandes ($R_4 +$ außere Vorschaltwiderstande) abhangt Man kann die durch die Stromverzweigung bedingte Vergroßerung der Phasenverschiebung des Drehspulstromes gegen die zu messende Netzspannung dadurch beseitigen, daß man einen Teil L des Nebenschlußwiderstandes R_8 induktiv wickelt Wahlt man die Induktanz L so, daß das Verhaltnis der Induktanz zum Ohmschen Widerstand im Nebenschlußzweige R_8 das gleiche ist wie im Drehspulzweige $R_1 + R_2$, so haben die beiden Zweigstrome gegeneinander keine Phasenverschiebung und sind damit auch in Phase mit dem unverzweigten Gesamtstrom des Spannungskreises Die Phasenverschiebung des Gesamtstromes gegen die angelegte Netzspannung wird aber wegen

des hohen Ohmschen Widerstandes des unverzweigten Spannungskreises (R_4 + außerer Vorschaltwiderstand) sehr klein werden Mithin wird auch der in der Drehspule entstehende Phasenfehler sehr klein, ebenso klein, als wenn der Nebenschluß R_3 gar nicht vorhanden ware Man kann aber auch diesen kleinen Phasenfehler noch zum Verschwinden bringen, wenn man das Verhaltnis L des Nebenschlusses zu dem Ohmschen Widerstande R_3 noch großer wahlt, als es im Drehspulzweige ist Bei entsprechender Wahl der elektrischen Großen der beiden parallelen Zweige wird dann der Phasenverschiebungswinkel zwischen dem Drehspulstrom und der an den Spannungskreis angelegten Netzspannung und damit auch der Phasenfehler gleich Null Auf diese Weise ist bei den Prazisions-Leistungsmessern der Siemens & Halske A.-G. eine Phasenkompensation erzielt, die fur eine bestimmte Normalfrequenz streng gultig ist, aber auch fur einen verhaltnismaßig großen Frequenzmeßbereich vollkommen ausreicht Damit werden aber auch die Instrumentangaben bei Gleichstrom und Wechselstrom genau gleich, so daß die Eichung des Leistungsmessers ohne weiteres mit Gleichstrom vorgenommen werden kann

Fur diejenigen, die naher auf die vorliegenden Fragen einzugehen wunschen, sind nachstehend noch die Diagramme fur die drei Falle angegeben

1 Induktionsfreier Nebenschluß R_3

Die Klemmenspannung zwischen den Punkten A und B werde durch den Vektor E dargestellt, dann bleibt der Strom I_D in der Drehspule um den Winkel φ hinter E zuruck Der Strom I_N in dem induktionsfreien Nebenschlußwiderstand R_3 ist in Phase mit der Spannung E Aus den beiden Zweigstromen I_N und I_D ergibt sich als geometrische Summe der Gesamtstrom I des Spannungskreises Der Spannungsabfall in dem Vorschaltwiderstande R_4 ist in Phase mit dem Gesamtstrom I, die Spannung $I \cdot R_4$ liegt also parallel zu I Aus den beiden Teilspannungen E und $I \cdot R_4$ ergibt sich die Gesamtspannung E_g Der Drehspulstrom I_D bleibt demnach um einen Winkel ψ hinter der zu messenden Gesamtspannung E_g zuruck

2 Induktiver Nebenschluß R_3 Das Verhaltnis der Induktanz zum Ohmschen Widerstand ist das gleiche wie im Drehspulzweig

Die Zweigstrome I_D und I_V sind in Phase, addieren sich also algebraisch zum Gesamtstrome I, der um den Winkel φ hinter der Teilspannung E zuruckbleibt Der Spannungsabfall $I \cdot R_4$ ist in Phase mit I, die Spannung I R_4 liegt also parallel zu I und gibt mit E zusammen die Gesamtspannung Eg Der Strom I_D bleibt jetzt nur noch um einen kleinen Winkel ψ hinter der zu messenden Spannung Eg zuruck

3 Induktiver Nebenschluß R_3 Phasenfehler kompensiert

Der Strom I_D bleibt um den Winkel φ_1 hinter der Teilspannung E zuruck Da das Verhaltnis der Induktanz zum Ohmschen Widerstand im Nebenschlußzweige großer ist, bleibt der Nebenschlußstrom I_N um einen etwas großeren Winkel φ_2 hinter E zuruck Der Gesamtstrom I ergibt sich wieder als geometrische Summe der beiden Zweigstrome Die Spannung am Vorschaltwiderstande R_4 ist in Phase mit I, also ist wieder $I \cdot R_4$ parallel zu I Aus E und I R_4 ergibt sich die Gesamtspannung, die bei richtiger Wahl der Verhaltnisse in Phase mit I_D ist Der Winkel ψ und damit der Phasenfehler ist demnach jetzt gleich Null geworden

d) Meßbereiche und Skalen.

Die **Strommeßbereiche** der Leistungsmesser der Laboratoriumstype werden fur Stromstarken von 0,5 bis 400 Amp ausgefuhrt Die Ab= stufung der einzelnen Meßbereiche ist aus der auf Seite 34 angegebenen Tabelle zu ersehen

Die **1000=Ohm=Klemme** des Instruments dient lediglich zum An= schluß an außere Vorschaltwiderstande Die Bezeichnung 1000=Ohm= Klemme wurde an Stelle der fruheren Bezeichnung 30 Volt eingefuhrt, um schon durch die Bezeichnung darauf hinzuweisen, daß diese Klemme nur als Anschlußpunkt fur außere Vorschaltwiderstande dienen soll Die eingebauten 1000 Ohm sind hierbei lediglich als ein einheitlicher Grund= widerstand aufzufassen, an den alle außeren Vorschaltwiderstande an= zuschließen sind (vgl Seite 36)

Benutzt man die 1000=Ohm=Klemme ausnahmsweise als Anschluß= punkt fur einen selbstandigen Meßbereich 30 Volt, so ist zu beachten, daß die Temperaturfehler fur diesen Meßbereich nicht so klein wie bei den hoheren Meßbereichen sind, und daß sie daher auch nicht ohne weiteres vernachlassigt werden konnen

Außer der 1000=Ohm=Klemme konnen die Leistungsmesser noch zwei eingebaute **Spannungsmeßbereiche,** und zwar 150 und 300 oder 150 und 600 oder 300 und 600 Volt erhalten

Die **Skala** der Leistungsmesser enthalt 150 gleichgroße, etwa 1 mm breite Skalenteile, ausgenommen ist hiervon nur das Instrument fur 200 und 400 Amp, das zur Erzielung einer einfachen Konstante eine 120= teilige Skala erhalten hat

e) Berechnung der Instrument=Konstante.

Die zu messende Leistung P ergibt sich aus dem Zeigerausschlag α (in Skalenteilen) des Leistungsmessers nach der Beziehung

$$P = c \cdot \alpha \qquad \text{Watt}$$

Der Faktor c ist die Instrument=Konstante des Leistungsmessers

Die Instrument=Konstante c ist also die Zahl, mit der man den Zeigerausschlag des Leistungsmessers multiplizieren muß, um die Leistung in Watt zu erhalten Wird $\alpha = 1$, so zeigt sich, daß die Instrument=Konstante c gleich dem Werte eines Skalenteiles in Watt ist

Die Präzisions-Leistungsmesser sind so geeicht, daß sie den vollen Zeigerausschlag bei vollem Strom, voller Spannung und bei einem Leistungsfaktor $\cos\varphi = 1$ geben Hieraus ergibt sich der Wert der Instrument-Konstanten

Bedeutet

α_1 = Anzahl der Skalenteile des Instruments,
I_1 = Strommeßbereich des Instruments,
E_1 = Spannungsmeßbereich des Instruments,

so hat die Instrument-Konstante c den Wert

$$c = \frac{I_1 \; E_1 \; \cos\varphi}{\alpha_1} = \frac{I_1 \; E_1}{\alpha_1}$$

Hierbei ist zu beachten, daß die 1000-Ohm-Klemme des Leistungsmessers einem Spannungsmeßbereich von 30 Volt entspricht

Fur die verschiedenen Meßbereiche der Leistungsmesser ergeben sich demnach folgende Konstanten

Strom Meßbereich Amp	Anzahl der Skalenteile	Instrument-Konstante c fur			
		1000 Ω	150 Volt	300 Volt	600 Volt
0,5 1	150	0,1 0,2	0,5 1	1 2	2 4
1 2	150	0,2 0,4	1 2	2 4	4 8
2,5 5	150	0,5 1	2,5 5	5 10	10 20
5 10	150	1 2	5 10	10 20	20 40
12,5 25	150	2,5 5	12,5 25	25 50	50 100
25 50	150	5 10	25 50	50 100	100 200
50 100	150	10 20	50 100	100 200	200 400
100 200	150	20 40	100 200	200 400	400 800
200 400	120	50 100	250 500	500 1000	1000 2000

Werden die Leistungsmesser in Verbindung mit außeren Vorschaltwiderstanden verwendet, so sind die Angaben auf Seite 38 zu beachten

f) Eigenverbrauch der Prazisions-Leistungsmesser.

Der Eigenverbrauch der voll belasteten **Stromspule** betragt bei den Leistungsmessern bis 50 Ampere etwa 4 bis 5 Watt, bei den Leistungsmessern fur hohere Stromstarken etwas mehr Die beiden durch Umschaltung der Spulenhalften erzielten Meßbereiche haben naturgemaß den gleichen Eigenverbrauch Der Spannungsabfall zwischen den Stromklemmen des Instruments ist jedoch fur den kleinen Meßbereich noch einmal so groß wie fur den großeren Meßbereich Dies ist besonders bei Verwendung der Instrumente fur 2,5 und 5 Ampere in Verbindung mit Stromwandlern zu beachten Sinkt wahrend einer Messungsreihe der Strom bis auf die Halfte, so lage es nahe, den Leistungsmesser auf den kleineren Meßbereich 2,5 Ampere umzuschalten, um dadurch den doppelten Zeigerausschlag zu erhalten Hierdurch wurde aber, da man vom halben Ausschlag des großen Meßbereiches zum vollen Ausschlag des kleinen Meßbereiches ubergeht, ein viermal so großer Spannungsabfall an den Stromklemmen des Leistungsmessers entstehen Der nur mit halbem Strom erregte Stromwandler wurde daher durch die Umschaltung mit einer viermal so hohen Sekundarspannung belastet werden, so daß die durch Vergroßerung des Zeigerausschlages gewonnene Erhohung der Ablesegenauigkeit durch großere Fehler des Stromwandlers aufgehoben wird (vgl auch Seite 49)

Der Stromverbrauch des **Spannungskreises** betragt bei den normalen Leistungsmessern mit 1000-Ohm-Klemme genau 30 Milliampere, so daß der Eigenverbrauch bei voller Spannung 0,9 Watt betragt

g) Schaltregeln für Präzisions-Leistungsmesser.

Fur alle Schaltungen mit Prazisions-Leistungsmessern gelten folgende Grundregeln

1 Alle erheblichen Potentialdifferenzen zwischen Strom- und Spannungsspule mussen unbedingt vermieden werden

Einerseits soll hierdurch verhindert werden, daß zwischen der Stromspule und der Spannungsspule des Leistungsmessers gefahrliche Potentialdifferenzen auftreten, die ein Uberschlagen der Spannung und damit eine Zerstorung des Instruments zur Folge haben konnen Andererseits

aber sollen durch Befolgung dieser Regel Meßfehler vermieden werden, die durch elektrische Ladungserscheinungen und dadurch verursachte Zeigerablenkungen entstehen

Zur Vermeidung dieser schadlichen Potentialdifferenzen muß man den Stromkreis des Leistungsmessers stets einpolig, ohne jede Zwischen-schaltung von Widerstand, mit einem geeigneten Punkt des Spannungs-kreises verbinden (Vgl die folgenden Schaltbilder)

2. Um einen richtigen Ausschlag des Zeigers in die Skala hinein zu erzielen, muß man so schalten, daß der Strom in zwei be-nachbarte Strom- und Spannungsklemmen eintritt oder aus beiden austritt

Der Strom muß daher entweder in die beiden linken oder in die beiden rechten Klemmen des Leistungsmessers eintreten

3. Alle Spannungsleitungen, die nicht direkt mit der Strom-spule des Instruments verbunden sind, sollen gesichert werden

Die Sicherung der Spannungskreise war fruher nicht allgemein ublich, da man die Spannungskreise durch ihren hohen Ohmschen Widerstand fur genugend geschutzt hielt Wiederholte Unfalle haben indes gezeigt, daß eine Sicherung der Spannungskreise keineswegs entbehrlich ist, da schon durch ungunstige Lage der Spannungsleitungen großere Kurz-schlusse entstehen konnen

Bei den im folgenden angegebenen Schaltungen ist stets voraus-gesetzt, daß der Stromerzeuger links und der Stromverbraucher rechts liegt Der Stromerzeuger ist im Schaltbild stets eingezeichnet, die Richtung der Energieabgabe wird durch einen Pfeil angedeutet

h) Vorschaltwiderstande fur Prazisions-Leistungsmesser.

Die Vorschaltwiderstande sind zum Anschluß an die 1000-Ohm-Klemme der Prazisions-Leistungsmesser bestimmt Man kann sie ohne weiteres fur jeden beliebigen Leistungsmesser mit 1000-Ohm-Klemme benutzen

Da die Normalbelastung des Spannungskreises der Prazisions-Leistungsmesser 0,03 Ampere betragt, entspricht der 1000-Ohm-Klemme eine Spannung von 30 Volt Aus dieser einfachen Beziehung ergibt sich die erforderliche Große des Vorschaltwiderstandes Betragt die

zu messende Spannung C 30 Volt, so muß der Gesamtwiderstand des Spannungskreises $C \times 1000$ Ohm betragen. Der Vorschaltwiderstand muß daher einen Widerstand von $(C - 1) \times 1000$ Ohm erhalten. Der Faktor C heißt die Widerstands-Konstante.

Die Widerstands-Konstante C ist also die Zahl, die angibt, wievielmal der Spannungsmeßbereich des Vorschaltwiderstandes größer ist als 30 Volt.

Bedeutet

E_1 = Spannungsmeßbereich des Vorschaltwiderstandes, so ist demnach die Widerstands-Konstante

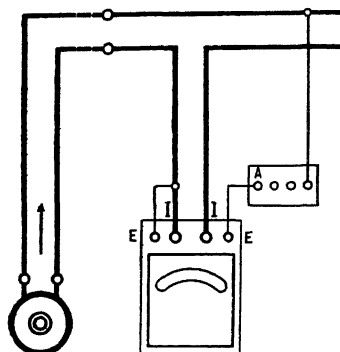
$$C = \frac{E_1}{30}$$

Für die normalen Spannungsmeßbereiche ergeben sich hieraus folgende Vorschaltwiderstände und Widerstands-Konstanten.

Bei der Wahl der Vorschaltwiderstände ist zu beachten, daß diese dauernd um 10 %, kurzzeitig um 20 % überlastet werden dürfen. Die Verbindung des Instruments mit dem Vorschaltwiderstand ergibt sich aus den umstehenden Schaltbildern.

Nullpunktwiderstände für Drehstrom gleicher Belastung sind im zweiten Teile des Buches auf Seite 226 beschrieben.

i) Außere Schaltung des Instruments.

Bei dem Aufbau der Schaltung sind die Angaben auf Seite 22 uber die Aufstellung der Meßgerate sowie die Schaltregeln auf Seite 35 zu beachten. Aus diesen Schaltregeln ergibt sich die folgende Schaltung.

Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Skalenteilen,

c = Instrument-Konstante fur 1000 Ohm (vgl. Seite 34),

C = Widerstands-Konstante fur den gewahlten Spannungsmeßbereich (an den Klemmen des Vorschaltwiderstandes angegeben),

so ist die gemessene Leistung

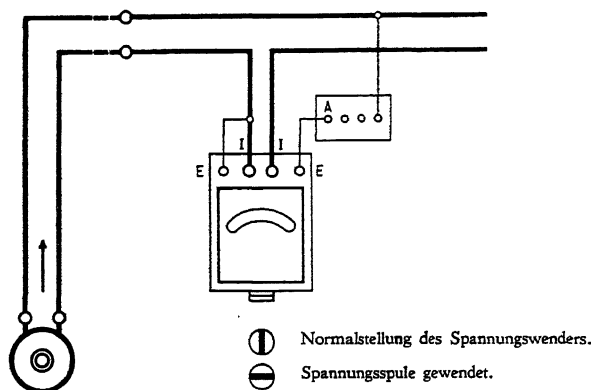
$$P = C \cdot c \cdot \alpha \qquad \text{Watt}$$

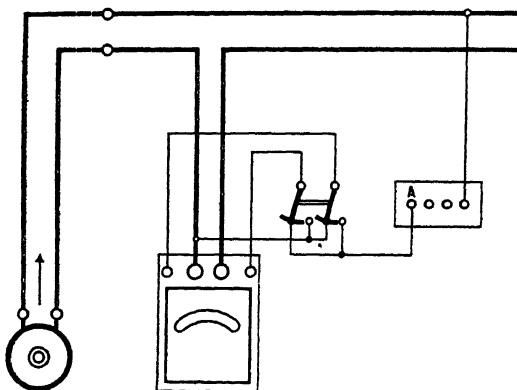
Um nach Schaltregel 1 erhebliche Potentialdifferenzen zwischen der Stromspule und der Spannungsspule des Leistungsmessers auszuschließen, verbindet man die linke Spannungsklemme des Leistungsmessers unmittelbar mit einer der beiden Stromklemmen. Die im Instrument auftretende Potentialdifferenz kann dann hochstens 30 Volt betragen und ist daher belanglos. Um nach Schaltregel 2 einen Zeigerausschlag im richtigen Sinne zu bekommen, muß man so schalten, daß der vom links liegenden Stromerzeuger kommende Strom in die beiden linken Klemmen (also in die linke Spannungsklemme und die linke Stromklemme)

eintritt bzw. aus ihnen austritt. Die von der oberen Sammelschiene nach dem Vorschaltwiderstande führende Leitung ist bei betriebsmäßigen Schaltungen entsprechend der Schaltregel 3 zu sichern. Bei Laboratoriumsmessungen wird man in den meisten Fällen auf diese Sicherung verzichten.

Vollständige Meßschaltungen für Einphasenstrom nebst ausführlichen Fehlerberechnungen sind auf Seite 160 angegeben. Die Meßschaltungen für Mehrphasenstrom sind im zweiten Teile des Buches in den entsprechenden Abschnitten über direkte Messungen beschrieben.

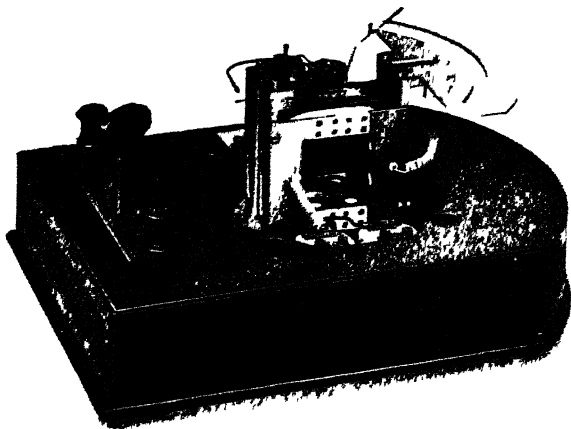
k) Stromwendung in der Spannungsspule.

Ergibt sich bei Drehstrom-Leistungsmessungen oder infolge falscher Schaltung (Nichtbeachtung von Regel 2, Seite 36) ein negativer Zeigerausschlag, so kann man entweder die Stromanschlüsse oder die Spannungsanschlüsse vertauschen, um einen positiven Ausschlag in die Skala hinein zu erhalten. Da ein Vertauschen der Hauptstromleitungen ohne Stromunterbrechung nicht ohne weiteres ausführbar ist, so ist eine Stromwendung in der Spannungsspule vorzuziehen.

Die Spannungswendung erfolgt am zweckmäßigsten durch einen in den Leistungsmesser **eingebauten** Spannungswender. Dieser bietet zunächst den Vorteil, daß die äußere Schaltung des Leistungsmessers nach Möglichkeit vereinfacht wird. Da die Spannungswendung hierbei

ohne Unterbrechung des Spannungskreises stattfindet, ergibt sich noch der weitere Vorteil, daß gefährliche Potentialdifferenzen zwischen Stromspule und Spannungsspule, die z. B. im Moment des Abschaltens durch ungleichzeitiges Öffnen der Schalterkontakte entstehen könnten, in jedem Falle vermieden werden. Der Spannungswender ist derart in die Innenschaltung des Leistungsmessers eingefügt, daß man ihn auch bei direktem Anschluß der 1000-Ohm-Klemme, also bei 30 Volt, gefahrlos betätigen kann.

Bei Leistungsmessern ohne eingebauten Spannungswender erfolgt die Änderung der Ausschlagsrichtung durch Vertauschen der Anschlußdrähte an den Spannungsklemmen des Leistungsmessers. Man verwendet hierzu mit Vorteil einen **außenliegenden Spannungswender,** der ohne Stromunterbrechung arbeitet. Da die Umschaltung über eine Kurzschlußstellung hinweg erfolgt, ist bei Benutzung dieser Spannungswender die Verwendung außenliegender Vorschaltwiderstände Bedingung, es werden dann im Augenblick der Umschaltung nur die im Instrument eingebauten 1000 Ohm kurzgeschlossen, während durch die außenliegenden Vorschaltwiderstände ein unzulässiges Anwachsen des Stromes verhindert wird.

Wenn ohne Vorschaltwiderstände (also mit dem Meßbereiche 30 Volt) gemessen wird, darf naturgemäß dieser Umschalter nicht benutzt werden, es ist vielmehr in diesem Fall ein Umschalter mit Unterbrechung zu verwenden.

3. Präzisions-Spannungsmesser der Laboratoriumstype.

a) Aufbau des Meßsystems.

Das Meßsystem besteht aus einer feststehenden Feldspule und einer im Hohlraum dieser Spule angeordneten Drehspule. Da die feststehende und die bewegliche Spule in Reihenschaltung liegen, sind die Ströme in beiden Systemspulen stets phasengleich. Etwaige in vorhandenen Metallteilen induzierte Wirbelströme sind um annähernd 90° gegen den induzierenden Strom, also auch gegen den Strom in der Drehspule verschoben, können daher mit diesem zusammen kein erhebliches Drehmoment ergeben. Der mechanische Aufbau des Meßsystems konnte infolgedessen ohne weiteres mit Zuhilfenahme von Metall erfolgen. Sogar der Spulenkasten der feststehenden Feldspule konnte aus Metall hergestellt werden, es genügte, den Metallrahmen aufzuschneiden, um jeden merklichen Einfluß der Wirbelströme auf das Meßergebnis zu vermeiden.

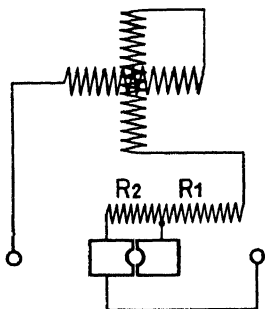
Die Zeigerbewegungen werden durch eine kräftig wirkende Luftdämpfung so gedämpft, daß eine nahezu aperiodische Zeigereinstellung erreicht wird.

b) Innere Schaltung

Die Innenschaltung entspricht derjenigen des Spannungs-Elektrodynamometers, die feststehende und die bewegliche Systemspule liegen daher in einfacher Reihenschaltung Die Unabhangigkeit der Instrumentangaben von der Temperatur ließ sich hierbei in verhaltnismaßig einfacher Weise durch Vorschalten von Manganin-Widerstanden erreichen Die Vorschaltung ist so groß, daß der Kupferwiderstand der Systemspulen nur etwa den zehnten Teil des Gesamtwiderstandes ausmacht Der elektrische Temperaturkoeffizient der Reihenschaltung betragt daher nur noch den zehnten Teil des Temperaturkoeffizienten des Kupfers Durch passende Wahl der Systemfedern konnte der Temperaturkoeffizient des Meßsystems mechanisch noch weiter herabgedruckt werden, so daß die Angaben der Spannungsmesser praktisch von der Temperatur unabhangig sind Der Selbstinduktionskoeffizient der Systemspulen tritt gegen den Ohmschen Widerstand derart zuruck, daß die Instrumentangaben fur alle in normalen Betrieben vorkommenden Frequenzen richtig bleiben, selbst bei Frequenzen von 100 Perioden in der Sekunde betragt der durch die Selbstinduktion verursachte Fehler nicht mehr als etwa 0,1% Um den Gesamtmeßbereich der einzelnen Instrumente nach Moglichkeit zu erweitern, erhalten die Spannungsmesser der Laboratoriumstype stets zwei Spannungsmeßbereiche, die sich wie 1 2 verhalten Die Umschaltung der Meßbereiche erfolgt mittels eines Stopsels

Durch das Stecken des Stopsels wird ein Teil des Vorschaltwiderstandes kurzgeschlossen Es ergibt sich also

Stopsel gesteckt kleiner Meßbereich,
Stopsel gezogen großer Meßbereich

Bei **Niederspannung** kann die Umschaltung von einem Meßbereich auf den anderen unter Spannung erfolgen, da bei der Umschaltung jede Stromunterbrechung vermieden ist Bei **Hochspannung** ist jede Beruhrung des Instruments wegen der damit verbundenen Lebensgefahr zu vermeiden

c) Meßbereiche und Skalen

Die Spannungsmesser werden fur die nachstehenden Meßbereiche hergstellt

Meßbereiche Volt	Innerer Widerstand etwa Ohm
15, 30	30, 60
30, 75	120, 300
75, 150	750, 1500
150, 300	2200, 4400
300, 600	10000, 20000

Fur alle diese Meßbereiche ist eine 150=teilige Skala vorgesehen Der allen dynamometrischen Spannungsmessern eigene quadratische Charakter der Skala ist durch geschickte Anordnung der Systemspulen nach Moglichkeit unterdruckt, so daß die Skala schon von etwa einem Funftel des Meßbereiches ab annahernd gleichmaßig geteilt ist

d) Eigenverbrauch des Präzisions=Spannungsmessers.

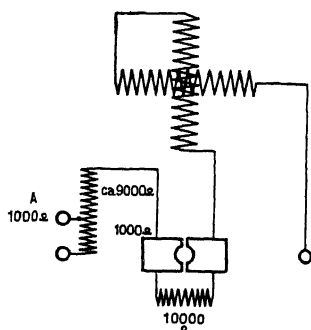
Der Wattverbrauch betragt, wie aus den vorstehend angegebenen Widerstandswerten hervorgeht, fur den kleinen Meßbereich etwa 7,5 bis 10 Watt, fur den großen Meßbereich etwa 15 bis 20 Watt Zur Abfuhr der hierdurch entstehenden nicht unerheblichen Warmemenge war es erforderlich, den Sockel mit einer durchbrochenen Kuhlwand zu um=geben Auch bei der Verwendung dieser Spannungsmesser muß ihr hoher Eigenverbrauch stets beachtet werden, da durch ihn die elektri=schen Verhaltnisse des zu untersuchenden Stromkreises unter Umstanden erheblich beeinflußt werden konnen

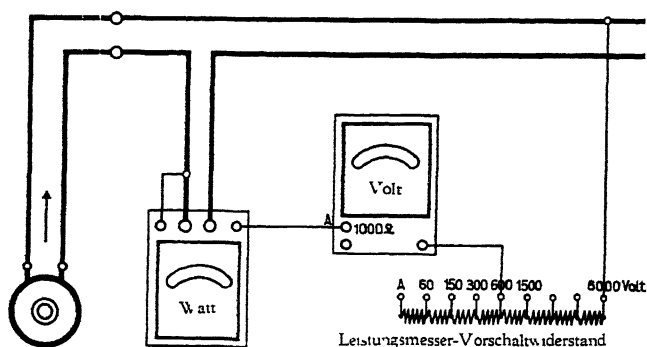
e) Vorschaltwiderstände zu den Prazisions=Spannungsmessern.

Zur Erhohung der Spannungsmeßbereiche der einzelnen Instrumente werden gesonderte Vorschaltwiderstande fur Spannungen bis zu 6000 Volt geliefert Bei Anschluß dieser Vorschaltwiderstande ist der **Span=nungsmesser** stets **auf den großeren Meßbereich** zu schalten Da die

Widerstande nicht auf einen bestimmten Betrag abgeglichen sind, durfen diese Vorschaltwiderstande nicht vertauscht werden Der Vorschaltwiderstand kann vielmehr nur zu dem Spannungsmesser verwendet werden, dessen Fabriknummer auf dem Schilde des Widerstandes angegeben ist Aus dem gleichen Grund ist bei etwaigen Nachbestellungen von Vorschaltwiderstanden stets die Fabriknummer des zugehorigen Spannungsmessers anzugeben

f) Reihenschaltung von Spannungsmesser und Leistungsmesser.

Bei Hochspannungsmessungen lassen sich die Vorschaltwiderstande fur den Spannungsmesser dadurch ersparen, daß man den Spannungsmesser unmittelbar in den Spannungskreis des Leistungsmessers einschaltet Bedingung fur diese Reihenschaltung ist, daß der Stromverbrauch des Spannungsmessers genau gleich dem Stromverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers ist Dies laßt sich jedoch nur bei Spannungsmessern mit den Meßbereichen 300 und 600 Volt erreichen, da der Stromverbrauch fur die niedrigeren Meßbereiche erheblich hoher ist Man verwendet zu dieser Schaltung eine Sonderausfuhrung des Spannungsmessers mit derart abgeglichenem Widerstande, daß einer Spannung von 300 bzw 600 Volt ein Widerstand von genau 10000 bzw 20000 Ohm entspricht Der Stromverbrauch des Spezial-Spannungsmessers betragt daher bei vollem Zeigerausschlag genau 0,03 Ampere Weiterhin erhalt dieser Spannungsmesser eine Abzweigklemme, durch die 1000 Ohm vom Gesamtwiderstand des Instruments abgezweigt werden Bei der Reihenschaltung treten dann an die Stelle der abgezweigten 1000 Ohm die 1000 Ohm des Spannungskreises (1000-Ohm-Klemme) des Leistungsmessers

Stopsel gesteckt 300 Volt
ohne Stopsel 600 „

Leistungsmesser-Vorschaltwiderstand

Am gemeinsamen Vorschaltwiderstand ist hierbei als Anfangsklemme je nach dem gestopselten Meßbereich des Spannungsmessers die 300- bzw. 600-Volt-Klemme zu verwenden.

Die Reihenschaltung von Leistungsmesser und Spannungsmesser ist jedoch nur bei **Spannungen über 3000 Volt** anwendbar, da sich durch die Selbstinduktion des Spannungsmessers bei kleineren Spannungen Phasenverschiebungsfehler am Leistungsmesser ergeben. Aus dem zuletzt erwähnten Grund ist diese Schaltung nur dann zu empfehlen, wenn besonderer Wert auf direkte Hochspannungsmessung gelegt wird. In allen anderen Fällen sind bei Hochspannung Spannungswandler vorzuziehen.

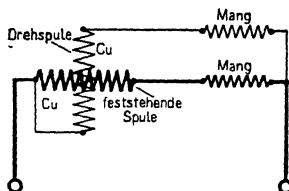
---

4. Präzisions-Strommesser der Laboratoriumstype.

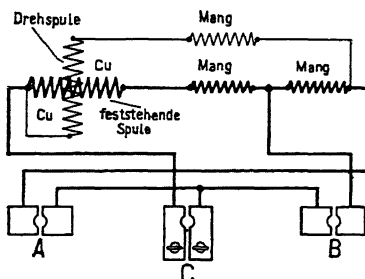
a) Aufbau des Meßsystems.

Der mechanische Aufbau des Meßsystems der Strommesser ist im wesentlichen der gleiche wie der des auf Seite 41 beschriebenen Spannungsmessers, nur ist die feststehende Spule mit einer dickdrahtigen, fur eine großere Stromstarke bestimmten Wickelung versehen Da die Strome in der feststehenden und in der beweglichen Spule annahernd phasengleich sind, ist eine Storung der Instrumentangaben durch Wirbelstrome nicht zu befurchten, die Verwendung von Metallkonstruktionsteilen ist daher ebenso unbedenklich wie bei dem Spannungsmesser Die Dampfung der Zeigerbewegungen erfolgt wieder durch eine Luftdampfung

b) Innere Schaltung.

Der Strommesser beruht ebenfalls auf dem Prinzip des Elektrodynamometers Bei den Instrumenten fur kleine Stromstarken (bis 0,5 Amp) liegen die beiden Systemspulen ebenso wie beim Spannungsmesser in Reihenschaltung Bei den Instrumenten fur hohere Stromstarken ist diese einfache Schaltung nicht mehr anwendbar, denn hierbei wurde das bewegliche System zu groß und schwer werden und die Zufuhrung starkerer Strome durch die schwachen Systemfedern nicht moglich sein

Bei den Strommessern fur großere Stromstarken wird daher nur die feststehende Systemspule von dem zu messenden Strome durchflossen, wahrend die bewegliche Spule derart parallel zur festen Spule geschaltet ist, daß sie nur einen kleinen Teilstrom fuhrt

Um die Stromverzweigung in den beiden parallel geschalteten Spulen von der Temperatur der Spulen unabhangig zu machen, ist vor jede der beiden Spulen ein Manganin=Widerstand geschaltet Im Interesse eines moglichst geringen Spannungsabfalles im Strommesser wird man jedoch den Manganin=Widerstand nicht so groß wahlen wie beim Spannungsmesser Es ist dies auch gar nicht notig, da beim Strommesser nur die kleinen Temperaturdifferenzen zwischen den beiden parallel geschalteten Zweigen fur die Anderung der Stromverteilung und damit fur die Richtigkeit der Instrumentangaben bestimmend sind Auf Grund eingehender Versuche wurde der Vorschaltwiderstand nur so groß gewahlt, daß der Temperaturkoeffizient der beiden parallelen Zweige etwa auf den vierten Teil des Temperaturkoeffizienten des Kupfers herabgedruckt wird Dies hat sich als vollkommen ausreichend erwiesen, um die Angaben des Instruments von der Temperatur praktisch unabhangig zu machen

Durch das Vorschalten von induktionsfreiem Widerstand vor die Systemspulen ist auch das Verhaltnis der Selbstinduktionskoeffizienten der Spulen zu den Ohmschen Widerstanden der beiden Zweige so gunstig geworden, daß die Abweichungen der Instrumentangaben bei Gleichstrom und Wechselstrom von 100 Perioden 0,1 % nicht uberschreiten

Um den Gesamtmeßbereich der einzelnen Instrumente moglichst zu erweitern, erhalten die Strommesser fur Stromstarken uber 0,5 Amp stets zwei Strommeßbereiche, die sich wie 1 2 verhalten Die Umschaltung der Meßbereiche erfolgt mittels eines Stopsels in der nachstehenden Weise Entsprechend den zwei Meßbereichen liegen zwei

Hauptstromwiderstande in Reihenschaltung mit der feststehenden Systemspule Parallel zu dieser ganzen Reihenschaltung liegt der Stromzweig der Drehspule mit ihrem Vorschaltwiderstande Die feststehende Spule mit ihren zwei Hauptstromwiderstanden dient also gewissermaßen als Mehrfach-Nebenschluß für den Drehspulzweig Wird der Stöpsel bei B gesteckt, so liegt vor der feststehenden Spule nur ein Hauptstromwiderstand Fließt hierbei in der feststehenden Spule der Strom I und in der Drehspule der Strom i, so ist das ausgeübte Drehmoment proportional $I \cdot i$ Wird der Stöpsel dagegen bei A gesteckt, so sind beide Hauptstromwiderstände in den Stromkreis der feststehenden Systemspule eingeschaltet Soll jetzt bei einem Hauptstrom $\frac{I}{2}$ der gleiche Zeigerausschlag, also das gleiche Drehmoment erreicht werden, so muß der Strom in der Drehspule doppelt so groß werden, also die Größe $2\,i$ bekommen Dies ist aber nur möglich, wenn der Spannungsabfall im Hauptstromkreis durch den zweiten Hauptstromwiderstand verdoppelt wird Der Spannungsabfall für den kleineren Meßbereich ist demnach bei diesen Strommessern stets doppelt so groß wie für den großen Meßbereich Da der Stöpselschalter bei beiden Meßbereichen außerhalb der verzweigten Schaltung liegt, können etwaige Übergangswiderstände in den Schaltern die Angaben des Instruments nicht beeinflussen

c) Meßbereiche und Skalen.

Beim Arbeiten mit dem Strommesser ist folgendes zu beachten

Vor dem **Einschalten** des Instruments in den Stromkreis muß stets ein Meßbereich gestöpselt sein Durch die drei Stöpsellöcher ergeben sich folgende **Schaltmöglichkeiten**

Stöpsel A gesteckt kleiner Strommeßbereich,
„ B „ doppelter Strommeßbereich,
„ C „ Instrument kurzgeschlossen

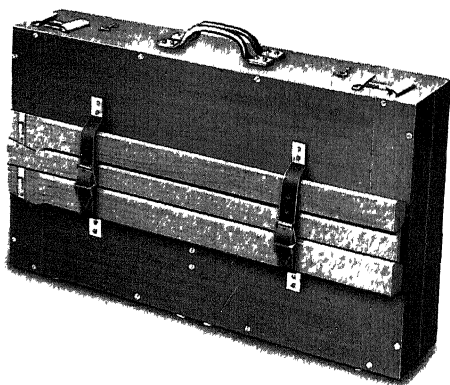
Der **Übergang auf einen anderen Meßbereich** kann bei Niederspannung ohne Stromunterbrechung vorgenommen werden, indem man zunächst beide Stöpsel bei A und B steckt und dann den nicht gewünschten Stöpsel zieht

Die Strommesser werden für die nachstehenden **Meßbereiche** hergestellt

Strommesser mit einem Meßbereich		Strommesser mit zwei Meßbereichen
Amp	etwa Ohm	Amp
0,03	1200	2,5 , 5
0,06	225	5 , 10
0,1	75	12,5 , 25
0,25	15	25 , 50
0,5	5	50 , 100
—	—	100 , 200

Die **Skala** ist, soweit es sich mit den Meßbereichen vereinbaren läßt, 100teilig ausgeführt Der quadratische Charakter der Skala ist durch geschickte Anordnung der Systemspulen nach Möglichkeit unterdrückt, so daß die Skala schon von einem Fünftel des Meßbereiches ab annähernd gleichmäßig unterteilt ist

d) Eigenverbrauch des Präzisions-Strommessers.

Der Spannungsabfall der Strommesser der Laboratoriumstype ist nicht unerheblich Er bewegt sich bei den Instrumenten mit zwei Meßbereichen je nach dem gewählten Meßbereich in den Grenzen von etwa 3 bis 0,3 Volt, so daß sich ein mittlerer Energieverbrauch von 30 bis 40 Watt ergibt Es ist daher empfehlenswert, das **Instrument bei Dauereinschaltung durch den mittleren Stöpsel kurzzuschließen** Aus der inneren Schaltung des Instruments folgt, daß für den kleineren Meßbereich der Spannungsabfall im Instrument noch einmal so groß sein muß wie für den hohen Strommeßbereich Dies ist besonders dann von Wichtigkeit, wenn z B der Strommesser für 2,5 und 5 Ampere in Verbindung mit Stromwandlern für sekundär 5 Ampere verwendet werden soll Durch Umschalten auf den kleinen Strommeßbereich 2,5 Ampere würde also der nur zur Hälfte belastete Stromwandler mit einer viermal so hohen Klemmenspannung belastet werden, so daß die durch Vergrößerung des Zeigerausschlages gewonnene Erhöhung der Ablesegenauigkeit durch größere Fehler des Stromwandlers aufgehoben wird (vgl Seite 35)

Meßkoffer fur Wechselstrom-Leistungsmessungen mit Instrumenten der Pruffeldtype

C. Tragbare Prüffeld-Instrumente.

1. Allgemeines.

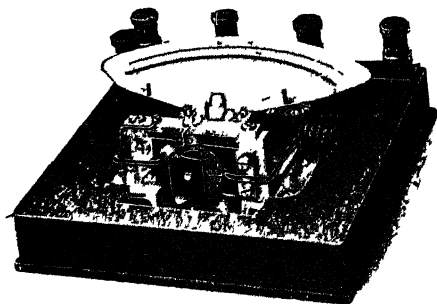
a) Anwendungsgebiet der Pruffeldtype.

Die Instrumente der Pruffeldtype sind fur normale Wechselstrom-Leistungsmessungen, wie sie in Pruffeldern und bei Abnahmeversuchen vorkommen, bestimmt Sie sind in erster Linie fur indirekte Messungen mit Strom und Spannungswandlern gedacht, konnen jedoch fur Spannungen bis etwa 600 Volt auch mit Vorschaltwiderstanden fur direkte Spannungsmessungen benutzt werden Die Angaben der Instrumente sind fur einen Bereich von etwa 5 bis 80 Perioden in der Sekunde von der Frequenz unabhangig

Fur Spezialmessungen mit außergewohnlich kleinen Leistungsfaktoren oder fur Messungen, bei denen eine starke Gleichstromkomponente und daher eine zur Nullachse unsymmetrische Wechselstromkurve zu erwarten ist, wird man die Verwendung von Meßwandlern nach Moglichkeit vermeiden Man wird daher in diesen Fallen die fur

direkte Messungen bestimmten Instrumente der Laboratoriumstype (vgl Seite 19) vorziehen Mit dieser Instrumenttype konnen alle Messungen mit Stromstarken bis zu 400 Ampere und mit Spannungen bis etwa 6000 Volt direkt ausgefuhrt werden

Bei Hochfrequenz von etwa 500 bis 1000 Perioden in der Sekunde sind ebenfalls die Leistungsmesser der Laboratoriumstype zu benutzen, die fur diesen Zweck in einer besonderen Ausfuhrung geliefert werden Fur Strom- und Spannungsmessungen verwendet man bei diesen hohen Frequenzen zweckmaßig Hitzdrahtinstrumente

b) Aufbau des Meßsystems

Die Instrumente der Pruffeldtype sind nach dem Prinzip des Elektrodynamometers gebaut, sie beruhen also auf der mechanischen Kraftwirkung, die zwei stromdurchflossene Spulen aufeinander ausuben Die eine dieser beiden Spulen ist feststehend angeordnet, wahrend die andere Spule im magnetischen Felde der festen Spule drehbar gelagert ist Die Stromzufuhrung zu der Drehspule erfolgt durch zwei Systemfedern, die gleichzeitig die mechanische Gegenkraft fur das System liefern Das Meßsystem ist ohne Benutzung von Eisen aufgebaut, die System-Kraftlinien verlaufen daher auf ihrem ganzen Wege durch die Luft

Der mechanische Aufbau des Meßsystems der Pruffeldtype weicht von der bekannten Systemanordnung der Laboratoriumstype wesentlich ab Wahrend bei dieser die bewegliche Spule innerhalb der feststehenden Spule angeordnet ist, liegt bei der Pruffeldtype die feststehende Stromspule innerhalb der beweglichen Spannungsspule Diese

Anordnung war nur möglich durch Beschränkung auf einen Strommeßbereich 5 Ampere, der für den Anschluß an Stromwandler einzig und allein in Betracht kommt. Die geschilderte Spulenanordnung gewährt außer dem gedrängten Systemaufbau noch den Vorteil, daß das vom Meßsystem erzeugte Magnetfeld räumlich nicht so ausgedehnt und daher auch die gegenseitige Beeinflussung nebeneinanderstehender Instrumente auf ein Mindestmaß herabgedrückt ist (vgl. Seite 55).

Während bei den Präzisions-Leistungsmessern der Laboratoriumstype mit einer gewissen Ängstlichkeit alle Metall-Konstruktionsteile vermieden sind, um Störungen der Instrumentangaben durch Wirbelströme von vornherein auszuschließen, ist die Prüffeldtype durchaus unter Verwendung von Metall aufgebaut. Die Anordnung und Form dieser Metall-Konstruktionsteile ist jedoch so gewählt, daß die Bildung von Wirbelströmen so gut wie ausgeschlossen ist. Die schädlichen Wirkungen der Metallmassen sind somit beseitigt, und das Instrument weist dieselben elektrischen Eigenschaften auf wie ein nach den früheren Grundsätzen, unter Vermeidung aller Metall-Konstruktionsteile, gebauter Leistungsmesser.

Mittels einer kräftig wirkenden **Luftdämpfung** ist eine fast aperiodische Zeigereinstellung erzielt worden. Die Luftdämpfung besteht aus einem kreisförmig gebogenen, einseitig geschlossenen Rohr, in dem sich mit geringem Spiel ein am beweglichen System befestigter Kolben bewegt.

Durch die Verwendung von Metallteilen und durch die gedrängte Anordnung des Systems ist ein sehr eleganter Aufbau des Instruments möglich geworden. Das Prüffeld-Instrument zeichnet sich daher durch seine kleine handliche Form und durch sein geringes Gewicht besonders aus. Weiterhin ist durch den metallischen System-Aufbau auch eine große Unempfindlichkeit gegen mechanische Stöße erreicht worden, so daß Beschädigungen auf dem Transport nur selten vorkommen dürften.

c) Charakteristische Eigenschaften des Systems.

Die Größe der vom System ausgeübten mechanischen Kraft ist dem Produkt der in beiden Spulen fließenden Ströme proportional. Da die von diesen Strömen erzeugten magnetischen Felder verhältnismäßig schwach sind, ist auch die erzeugte Kraft, also das **Drehmoment**, nur klein. Um hierbei eine unsichere Zeigereinstellung zu vermeiden, werden die eisenlosen Drehspul-Instrumente nur mit senkrecht stehender Systemachse ausgeführt.

Die Richtung der Systemkraft, also die **Ausschlagsrichtung** des Zeigers, andert sich nicht, wenn die Stromrichtung in beiden Systemspulen gleichzeitig geandert wird Die Instrumente sind daher ohne weiteres fur Gleichstrom und Wechselstrom verwendbar Durch die geschickte Anordnung der Metallteile ist erreicht worden, daß die Angaben des Instruments bei Wechselstrom genau die gleichen sind wie bei Gleichstrom

Da die wirksamen Magnetfelder im Instrument verhaltnismaßig klein sind, werden **fremde Magnetfelder** das Instrument unter Umstanden leicht beeinflussen Um die hierdurch entstehenden Meßfehler zu vermeiden, muß man bei dem Aufbau der Meßschaltung die auf Seite 55 angegebenen Gesichtspunkte beachten

Die Angaben der Instrumente sind innerhalb weiter Grenzen von der **Frequenz** unabhangig Man kann sie daher ohne weiteres fur alle Frequenzen zwischen 5 und 80 Perioden i d Sek benutzen Auch beeinflußt die **Kurvenform** die Instrumentangaben nicht Innerhalb der Spannungsmeßbereiche sind beliebig große **Spannungsanderungen** zulassig, ohne daß hierdurch Fehler entstehen

d) Verwendung der Instrumente fur Wechselstrom und Gleichstrom.

Die Instrumente der Pruffeldtype zeigen ebenso wie die der Laboratoriumstype sowohl bei Wechselstrom als auch bei Gleichstrom richtig an Über ihre Verwendung bei den verschiedenen Stromarten gelten daher ohne weiteres die uber die Laboratoriumstype auf Seite 21 gemachten Angaben

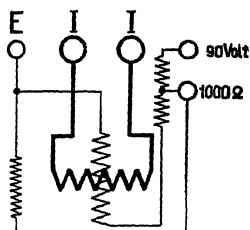
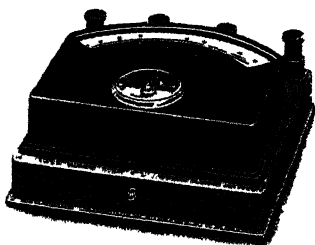
e) Aufstellung der Instrumente.

Bei der Messung sollen die Instrumente auf einem annahernd horizontalen Tisch liegen Das Putzen der Glasscheibe des Instruments unmittelbar vor der Messung ist zu vermeiden, weil durch das Reiben mit einem trockenen Tuch leicht elektrostatische Ladungen hervorgerufen werden konnen, die den Zeigerausschlag beeinflussen Man beseitigt etwaige Ladungen durch leichtes Anhauchen der Glasscheibe

Die gegenseitige Beeinflussung der Instrumente der Pruffeldtype ist so gering, daß man die Instrumente ohne weiteres dicht nebeneinander aufstellen kann Eine Beeinflussung durch die Zufuhrungsleitungen zu den Instrumenten ist wegen der geringen Stromstarke von hochstens 5 Ampere nicht zu befurchten Andere Apparate, die starkere magnetische Felder erzeugen, z B Strom- und Spannungswandler, durfen nicht in unmittelbarer Nahe der Instrumente stehen Ebenso vermeide man die Nahe Starkstrom fuhrender Leitungen Etwa in derselben Schaltung benutzte Instrumente der Laboratoriumstype muß man in einem Abstand von mindestens 40 cm von Mitte zu Mitte aufstellen

---

2. Präzisions-Leistungsmesser der Prüffeldtype.

a) Innere Schaltung.

Der Leistungsmesser hat eine feststehende Stromspule, die vom Hauptstrom durchflossen wird, und eine im Felde dieser Spule drehbar angeordnete Spannungsspule, die an die zu messende Spannung angelegt wird.

Die feststehende **Stromspule** ist unmittelbar an die beiden Stromklemmen des Instruments angeschlossen.

Die drehbare **Spannungsspule** erhält einen Manganin-Vorschaltwiderstand. Parallel zu dieser Reihenschaltung liegt ein Nebenschlußwiderstand, durch den der Stromverbrauch des Spannungskreises auf genau 30 Milliampere bei voller Spannung abgeglichen wird. Es ergibt sich demnach für 30 Volt ein Widerstand von 1000 Ohm. Diese 1000 Ohm sind als Grundwiderstand in das Instrument eingebaut. Ihnen entspricht die 1000-Ohm-Klemme des Instruments, die zum Anschluß an äußere Vorschaltwiderstände bestimmt ist. Zum unmittelbaren Anschluß an Spannungswandler ist in das Instrument noch ein Vorschaltwiderstand von 2000 Ohm eingebaut, der zu der mit 90 Volt bezeichneten Klemme führt.

Außer der vorstehend beschriebenen Ausführung wird noch ein Leistungsmesser mit nur einem Spannungsmeßbereich von 100 Volt gebaut, der ausschließlich für Anschluß an Spannungswandler bestimmt ist. Da für diese Ausführung keine Vorschaltwiderstände nötig sind, hat man hier von einer Abgleichung des Spannungskreises auf einen bestimmten Stromverbrauch abgesehen.

b) Meßbereiche und Skalen.

Die Leistungsmesser der Pruffeldtype sind in erster Linie zum Anschluß an Strom- und Spannungswandler bestimmt Fur mittlere Spannungen bis etwa 600 Volt ist jedoch auch die Verwendung von Vorschaltwiderstanden vorgesehen

Der **Strommeßbereich** des Instruments ist der Sekundarstromstarke der Prazisions-Stromwandler angepaßt, er betragt daher bei allen Ausfuhrungen 5 Ampere

Die **1000-Ohm-Klemme** des Instruments dient lediglich zum Anschluß an außere Vorschaltwiderstande Die Bezeichnung 1000-Ohm-Klemme wurde an Stelle der fruheren Bezeichnung 30 Volt eingefuhrt, um schon durch die Bezeichnung darauf hinzuweisen, daß diese Klemme nur als Anschlußpunkt fur außere Vorschaltwiderstande dienen soll Die eingebauten 1000 Ohm sind hierbei lediglich als ein einheitlicher Grundwiderstand aufzufassen, an den alle außeren Vorschaltwiderstande anzuschließen sind (vgl Seite 62)

Benutzt man die 1000-Ohm-Klemme ausnahmsweise als Anschlußpunkt fur einen selbstandigen Meßbereich 30 Volt, so ist zu beachten, daß die Temperaturfehler fur diesen Meßbereich nicht so klein wie bei den hoheren Meßbereichen sind, und daß sie daher auch nicht ohne weiteres vernachlassigt werden konnen

Der **Spannungsmeßbereich 90 Volt** ist zum Anschluß an Prazisions-Spannungswandler mit 100 Volt Sekundarspannung bestimmt, jedoch so reichlich bemessen, daß er ohne Gefahr einer Beschadigung dauernd an 110 Volt angeschlossen werden kann Bei Anschluß des Instruments an die normale Sekundarspannung von 100 Volt wird sein Spannungskreis um 10 % uberlastet, sein Zeigerausschlag wird also auch um 10 % vergroßert Der Leistungsmesser gibt daher bei voller Strom- und Spannungsbelastung schon bei einem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0{,}9$ den vollen Zeigerausschlag Diese Vergroßerung des Zeigerausschlages ist von besonderem Vorteil, da man bei den weitaus meisten Messungen mit einem Leistungsfaktor $\cos \varphi < 1$ rechnen muß Auch bei $\cos \varphi = 1$ wird man in den meisten Fallen mit dem 90-Volt-Meßbereich auskommen, da die Strommeßbereiche fast nie vollkommen ausgenutzt werden Gegebenenfalls kann man, um den Zeigerausschlag innerhalb der Skala zu halten, auf den Meßbereich 120 Volt des Vorschaltwiderstandes ubergehen Man wird dies namentlich dann tun, wenn in einer Anlage die vorhandenen Schalttafel-

Spannungswandler mit 110 Volt Sekundarspannung fur die Messung benutzt werden sollen

Die **Skala** des Instruments enthalt 150 gleich große, etwa 1 mm breite Skalenteile

Die nur fur Anschluß an Spannungswandler bestimmte **Sonder=ausfuhrung** des Leistungsmessers erhalt einen Spannungsmeßbereich 100 Volt und dementsprechend eine 100=teilige Skala

c) Berechnung der Instrument=Konstante.

Die zu messende Leistung P ergibt sich aus dem Zeigerausschlag α (in Skalenteilen) des Leistungsmessers nach der Beziehung

$$P = c \quad \alpha \qquad \text{Watt}$$

Der Faktor c ist die Instrument=Konstante des Leistungsmessers

Die Instrument=Konstante c ist also die Zahl, mit der man den Zeigerausschlag des Leistungsmessers multiplizieren muß, um die Leistung in Watt zu erhalten Wird $\alpha = 1$, so zeigt sich, daß die Instrument-Konstante c gleich dem Werte eines Skalenteiles in Watt ist

Die Prazisions=Leistungsmesser sind so geeicht, daß sie den vollen Zeigerausschlag bei vollem Strom, voller Spannung und bei einem Leistungsfaktor $\cos\varphi = 1$ geben Hieraus ergibt sich der Wert der Instrument=Konstanten

Bedeutet

α_1 = Anzahl der Skalenteile des Instruments,

I_1 = Strommeßbereich des Instruments,

E_1 = Spannungsmeßbereich des Instruments,

so hat die Instrument=Konstante c den Wert

$$c = \frac{I_1 \cdot E_1 \quad \cos\varphi}{\alpha_1} = \frac{I_1 \quad E_1}{\alpha_1}$$

Hierbei ist zu beachten, daß die 1000=Ohm=Klemme des Leistungs=messers einem Spannungsmeßbereich von 30 Volt entspricht

Fur die verschiedenen Meßbereiche der Pruffeld Leistungsmesser ergeben sich demnach folgende Konstanten

Strom= Meßbereich	Spannungskreis	Anzahl der Skalenteile	Instrument= Konstante
5 Amp	1000 Ohm	150	1
5 „	90 Volt	150	3
5 „	100 „	100	5

Die Instrument-Konstanten sind auf der jedem Instrument beigegebenen Konstantentabelle angegeben

d) Eigenverbrauch des Instruments.

Um eine moglichst hohe Ubersetzungs-Genauigkeit der Meßwandler zu erreichen, sind die Leistungsmesser der Pruffeldtype so gebaut worden, daß ihr Eigenverbrauch besonders gering ist

Der Spannungsabfall in der **Stromspule** des Leistungsmessers betragt bei 5 Ampere und 50 Perioden nur etwa 0,26 Volt Hierbei ist der Leistungsfaktor in der Stromspule etwa $\cos \varphi = 0{,}92$ Bei 25 Perioden sinkt der Spannungsabfall beim gleichen Strom auf etwa 0,24 Volt, wobei der Leistungsfaktor auf etwa $\cos \varphi = 0{,}98$ steigt Hieraus ergibt sich fur die Stromspule des Leistungsmessers ein mittlerer Eigenverbrauch von etwa 1,3 Voltampere

Der Stromverbrauch des **Spannungskreises** betragt bei den normalen Leistungsmessern mit 1000-Ohm-Klemme und Spannungsmeßbereich 90 Volt genau 30 Milliampere Bei Anschluß des 90-Volt-Meßbereiches an die Sekundarspannung von 100 Volt der Prazisions-Spannungswandler steigt der Strom des Spannungskreises auf 33,3 Milliampere, so daß hierbei der Eigenverbrauch 3,33 Voltampere betragt

Die nur fur Anschluß an Spannungswandler bestimmte **Sonderausfuhrung** des Leistungsmessers mit einem Spannungsmeßbereich 100 Volt hat im Spannungskreis einen Stromverbrauch von etwa 30 Milliampere (vgl Seite 58) Der Eigenverbrauch bei 100 Volt betragt daher etwa 3 Voltampere

e) Schaltregeln fur Prazisions-Leistungsmesser.

Fur die Pruffeld-Instrumente gelten die gleichen Schaltregeln wie fur die Laboratoriums-Instrumente (vgl Seite 35) Der leichteren Ubersichtlichkeit halber seien diese Schaltregeln hier nochmals angefuhrt

1. **Alle erheblichen Potentialdifferenzen zwischen Strom- und Spannungsspule mussen unbedingt vermieden werden**

Einerseits soll hierdurch verhindert werden, daß zwischen der Stromspule und der Spannungsspule des Leistungsmessers gefahrliche Potentialdifferenzen auftreten, die ein Überschlagen der Spannung und damit eine Zerstorung des Instruments zur Folge haben konnen Andererseits aber sollen durch Befolgung dieser Regel Meßfehler vermieden werden, die durch elektrische Ladungserscheinungen und dadurch verursachte Zeigerablenkungen entstehen

Zur Vermeidung dieser schadlichen Potentialdifferenzen muß man den Stromkreis des Leistungsmessers stets einpolig, ohne jede Zwischenschaltung von Widerstand, mit einem geeigneten Punkte des Spannungskreises verbinden (Vgl die folgenden Schaltbilder)

2 **Um einen richtigen Ausschlag des Zeigers in die Skala hinein zu erzielen, muß man so schalten, daß der Strom in zwei benachbarte Strom- und Spannungsklemmen eintritt oder aus beiden austritt.**

Der Strom muß daher entweder in die beiden linken oder in die beiden rechten Klemmen des Leistungsmessers eintreten

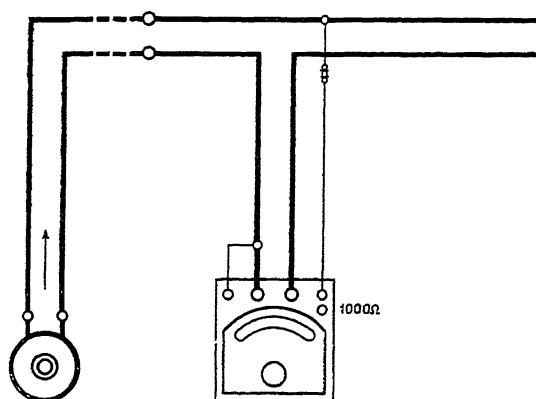
3. **Alle Spannungsleitungen, die nicht direkt mit der Stromspule des Instruments verbunden sind, sollen gesichert werden**

Die Sicherung der Spannungskreise war fruher nicht allgemein ublich, da man die Spannungskreise durch ihren hohen Ohmschen Widerstand fur genugend geschutzt hielt Wiederholte Unfalle haben indes gezeigt, daß eine Sicherung der Spannungskreise keineswegs entbehrlich ist, da schon durch ungunstige Lage der Spannungsleitungen großere Kurzschlusse entstehen konnen Die erforderlichen Sicherungen sind in allen Schaltbildern eingezeichnet

Bei den im folgenden angegebenen Schaltungen ist stets vorausgesetzt, daß der Stromerzeuger links und der Stromverbraucher rechts liegt Der Stromerzeuger ist im Schaltbild stets eingezeichnet, die Richtung der Energieabgabe wird durch einen Pfeil angedeutet

f) Außere Schaltung des Instruments fur Spannungen bis 110 Volt.

Beim Aufbau der Schaltung sind die Angaben uber die Aufstellung des Instruments auf Seite 54 sowie die Schaltregeln auf Seite 59 zu beachten

Die linke Spannungsklemme des Leistungsmessers ist direkt mit der linken Stromklemme verbunden Da die Spannungsspule unmittelbar an der linken Spannungsklemme liegt (vgl Innenschaltung des Instruments auf Seite 56), ist auf diese Weise jede Potentialdifferenz zwischen der Stromspule und der Spannungsspule ausgeschlossen Die Schaltregel 1 ist also erfullt Entsprechend der Schaltregel 2 tritt der vom links liegenden Stromerzeuger kommende Strom in die beiden linken Klemmen des Instruments ein bzw aus ihnen aus Der Zeigerausschlag muß daher im richtigen Sinn erfolgen Die rechte Spannungsklemme des Instruments ist entsprechend der Schaltregel 3 gesichert

Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Skalenteilen,

$c = 5$ = Instrument-Konstante fur 5 Amp , 90 Volt (vgl Seite 58)

so ist die gemessene Leistung

$$P = c \cdot \alpha \quad \textbf{Watt.}$$

Soll die Leistung des auf der rechten Seite angeschlossenen Stromverbrauchers bestimmt werden, so wird in der angedeuteten Schaltung der Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungsmessers mitgemessen Verbindet man andererseits die linke Spannungsklemme mit der rechten Stromklemme, so wird der Eigenverbrauch des Spannungskreises mitgemessen Bei dem Leistungsmesser der Pruffeldtype ist der Eigenverbrauch der Stromspule außerordentlich gering, so daß er schon bei Spannungen uber 60 Volt kleiner ist als der Eigenverbrauch des Spannungskreises Die eingezeichnete Schaltung wird daher bei fast allen praktisch vorkommenden Messungen die geringsten Fehler ergeben Eine Korrektion der Messung durfte bei der geringen Große der Verluste in der Stromspule kaum notig sein

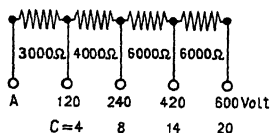
Vollstandige Meßschaltungen fur indirekte Messungen sind fur Einphasenstrom mit ausfuhrlichen Fehlerberechnungen auf Seite 165 angegeben Die Meßschaltungen fur Mehrphasenstrom sind im zweiten Teile des Buches in den entsprechenden Abschnitten uber indirekte Messungen beschrieben

g) Vorschaltwiderstande.

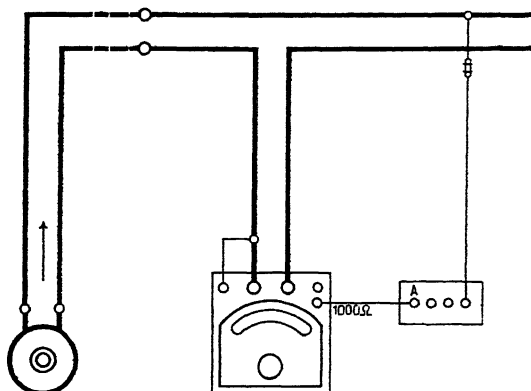
Die Vorschaltwiderstande sind zum Anschluß an die 1000=Ohm=Klemme der Prazisions=Leistungsmesser bestimmt Man kann sie ohne weiteres zu jedem beliebigen Leistungsmesser mit 1000=Ohm=Klemme benutzen

Die zu den Pruffeld=Instrumenten gehorigen Vorschaltwiderstande unterscheiden sich von den auf Seite 36 beschriebenen Widerstanden nur durch die Meßbereiche Diese sind den vom Verband Deutscher Elektrotechniker festgelegten Normalspannungen angepaßt worden Hieraus ergibt sich der wesentliche Vorteil, daß die Skala des Leistungs=messers besser ausgenutzt werden kann Entsprechend den Angaben auf Seite 51 kommen fur die Leistungsmesser der Pruffeldtype nur Wider=stande fur Spannungen bis 600 Volt in Frage

Normalspannung des V D E Volt	**Meßbereich des Vorschaltwiderstandes** Volt	**Widerstands=Konstante** C
120	120	4
220	240	8
380	420	14
500	600	20

Die Widerstande und die Widerstands Konstanten fur die einzelnen Meßbereiche sind in dem nachstehenden Schaltbild angegeben

Bei der Wahl der Vorschaltwiderstande ist zu beachten, daß diese dauernd um 10 %, kurzzeitig um 20 % uberlastet werden durfen

Nullpunktwiderstande fur Drehstrom gleicher Belastung sind im zweiten Teile des Buches auf Seite 225 beschrieben

Die Verbindung des Instruments mit dem Vorschaltwiderstand fur Einphasenstrom ergibt sich aus dem nachstehenden Schaltbild

Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Skalenteilen,

$c = 1$ = Instrument-Konstante fur 5 Amp , 1000 Ohm (vgl Seite 58),

C = Widerstands-Konstante (an den Klemmen des Vorschaltwiderstandes angegeben),

so ist die gemessene Leistung

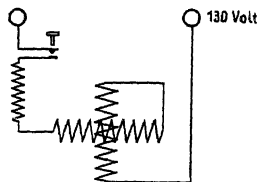
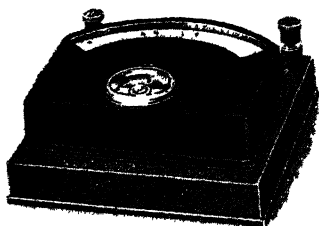
$$P = C \cdot c \cdot \alpha \qquad \text{Watt}$$

Vollstandige Meßschaltungen fur halbindirekte Messungen sind fur Einphasenstrom mit ausfuhrlichen Fehlerberechnungen auf Seite 171 angegeben Die Meßschaltungen fur Mehrphasenstrom sind im zweiten Teile des Buches in den entsprechenden Abschnitten uber halbindirekte Messungen beschrieben

h) Eingebauter Spannungswender.

Ergibt sich bei Drehstrom-Leistungsmessungen oder infolge falscher Schaltung (Nichtbeachtung von Regel 2, Seite 60) ein negativer Zeigerausschlag, so kann man entweder die Stromanschlusse oder die Spannungsanschlusse vertauschen, um einen positiven Ausschlag in die Skala hinein zu erhalten Da ein Vertauschen der Hauptstromleitungen ohne Stromunterbrechung nicht ohne weiteres ausfuhrbar ist, so ist eine Stromwendung in der Spannungsspule vorzuziehen Diese Stromwendung erfolgt zweckmaßig durch einen in das Instrument eingebauten Spannungswender, wie er auf Seite 39 ausfuhrlich beschrieben worden ist

3. Präzisions-Spannungsmesser der Prüffeldtype.

a) Innere Schaltung.

Der mechanische Aufbau des Meßsystems ist bei dem Spannungsmesser der gleiche wie bei dem Leistungsmesser der Prüffeldtype. Die Innenschaltung entspricht derjenigen des Spannungs-Elektrodynamometers. Die feststehende und die bewegliche Spule liegen daher in Reihenschaltung. Durch einen Manganin-Vorschaltwiderstand sowie durch passende Wahl der Systemfedern ist der Temperatur-Koeffizient des Spannungsmessers nach Möglichkeit herabgedrückt. Allerdings konnte man im Interesse eines niedrigen Eigenverbrauches des Instruments den Temperatur-Koeffizienten nicht soweit herabdrücken, wie dies bei den Präzisions-Instrumenten für Gleichstrom üblich ist. Es ergibt sich daher bei Dauereinschaltung des Instruments ein kleiner Erwärmungsfehler von 0,1 bis höchstens 0,2 % des Sollwertes. Um diesen Fehler zu vermeiden, wird man bei besonders genauen Messungen das Instrument mit dem eingebauten Tastenschalter nur kurzzeitig einschalten. Für die meisten praktisch vorkommenden Messungen kann man jedoch den Erwärmungsfehler vernachlässigen. Bei Verwendung äußerer Vorschaltwiderstände muß der Tastenschalter dauernd eingeschaltet bleiben, da bei den höheren Spannungen eine sichere Unterbrechung des Intrumentstromes nicht gewährleistet werden kann, ohne daß die Kontakte leiden. Überdies ist ein Ausschalten des Instrumentstromes bei Verwendung äußerer Vorschaltwiderstände auch für genauere Messungen nicht erforderlich, da der Temperatur-Koeffizient des Instruments durch die temperaturfehlerfreien Manganin-Vorschaltwiderstände genügend verkleinert wird.

b) Meßbereiche.

Der Meßbereich des Spannungsmessers betragt 130 Volt Man kann das Instrument daher sowohl zum Anschluß an Spannungswandler, als auch zur direkten Spannungsmessung in Netzen mit der normalen Betriebsspannung von 120 Volt verwenden

Bei Benutzung von Spannungswandlern ist die Ablesung am Instrument mit der Übersetzung des Spannungswandlers zu multiplizieren Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Skalenteilen,

$\frac{E}{100}$ = Ubersetzung des Spannungswandlers mit 100 Volt Sekundarspannung,

so ist die gemessene Spannung

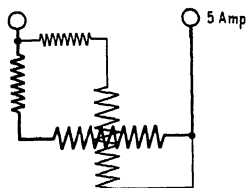
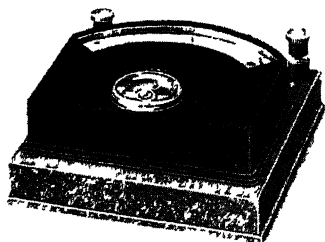
$$E_x = \frac{E}{100} \alpha \qquad \text{Volt}$$

Um mittlere Spannungen bis 650 Volt auch direkt messen zu konnen, sind besondere Vorschaltwiderstande vorgesehen Diese werden fur die Meßbereiche 260, 520 und 650 Volt geliefert Da die Spannungsmesser nicht auf einen bestimmten Stromverbrauch abgeglichen sind, darf man die Vorschaltwiderstande nicht vertauschen, man darf sie vielmehr nur mit dem Instrument, das die gleiche Fabrikationsnummer tragt, benutzen

c) Eigenverbrauch des Prazisions-Spannungsmessers.

Der Stromverbrauch des Spannungsmessers betragt etwa 60 Milliampere bei vollem Zeigerausschlag, es ergibt sich daher fur den Meßbereich von 130 Volt ein innerer Widerstand von etwa 2200 Ohm Da die Selbstinduktion des Instruments gegen die Ohmschen Widerstande verschwindend klein ist, wird fur normale Frequenzen, bis etwa 80 Perioden in der Sekunde, der Leistungsfaktor im Instrument praktisch gleich 1 Der Eigenverbrauch des Instruments betragt somit bei vollem Zeigerausschlag etwa 7,5 Watt

4 Präzisions-Strommesser der Prüffeldtype.

a) Innere Schaltung.

Der mechanische Aufbau des Meßsystems des Strommessers ist der gleiche wie bei dem Leistungsmesser der Pruffeldtype Der Strommesser beruht also ebenfalls auf dem Prinzip des Elektrodynamometers Die feststehende Systemspule wird von dem zu messenden Hauptstrom durchflossen, wahrend die bewegliche Spule, die parallel zur festen Spule angeschlossen ist, nur einen kleinen Teilstrom fuhrt Um die Stromverteilung in den beiden parallel geschalteten Spulen von der Temperatur der Spulen unabhangig zu machen, ist vor jede der beiden Spulen ein Manganin-Widerstand geschaltet, der die Temperatur-Koeffizienten der beiden parallel geschalteten Zweige so weit herabdruckt, daß die zwischen beiden Spulen auftretenden Temperaturdifferenzen keine merkbaren Fehler mehr verursachen

b) Meßbereich.

Der Meßbereich des Strommessers ist der Sekundar-Stromstarke der Prazisions-Stromwandler angepaßt und betragt daher 5 **Ampere** Da das Instrument fast ausschließlich in Verbindung mit Stromwandlern benutzt wird, erhalt es nur eine 100-teilige Skala mit Bezifferung von 0 bis 100

Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Skalenteilen der 100-teiligen Skala,

$\frac{I}{5}$ = Ubersetzung des Stromwandlers mit 5 Amp Sekundarstrom,

so ist der gemessene Strom bei Benutzung des Instruments ohne Stromwandler

$$I_\alpha = \frac{\alpha}{20} \quad \text{Ampere}$$

Bei Verwendung eines Stromwandlers ist dieser Strom noch mit der Ubersetzung des Stromwandlers zu multiplizieren Er wird demnach

$$I_x = \frac{I}{5} \cdot \frac{x}{20} = \frac{I}{100} \cdot x \qquad \text{Ampere}$$

c) Eigenverbrauch des Prazisions=Strommessers.

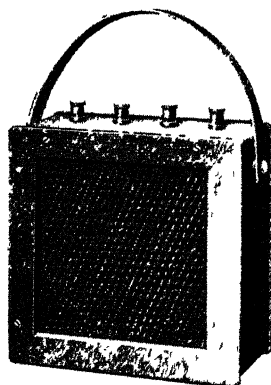
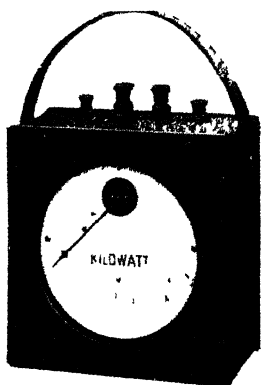
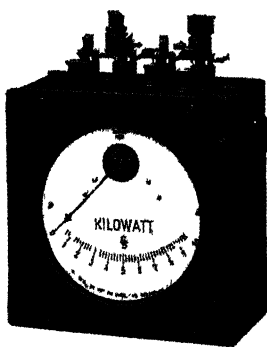
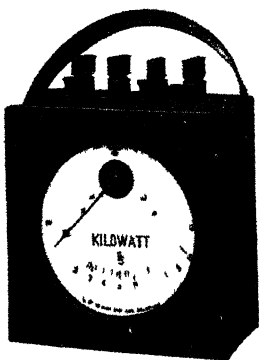
Der Spannungsabfall im Strommesser betragt bei 5 Ampere etwa 1,3 Volt Da die Selbstinduktion des Instruments gegen die Ohmschen Widerstande verschwindend klein ist, wird fur normale Frequenzen, bis etwa 80 Perioden i d Sek, der Leistungsfaktor im Instrument praktisch gleich 1 Der Eigenverbrauch des Strommessers betragt daher etwa 6,5 Watt bei vollem Zeigerausschlag

---

5. Meßkoffer

für Wechselstrom=Leistungsmessungen.

Die fur eine vollstandige Leistungsmessung erforderlichen Meß=instrumente werden zweckmaßig in einem Meßkoffer vereinigt Der Meßkoffer enthalt einen Prazisions=Leistungsmesser mit Vorschalt=widerstand, einen Prazisions=Spannungsmesser nebst Vorschaltwider=stand und einen Prazisions=Strommesser Die Instrumente sind ubersichtlich angeordnet und konnen wahrend der Messung im Meß=koffer verbleiben, da eine gegenseitige Beeinflussung nicht zu be=furchten ist Die zur Ausfuhrung der Messungen erforderlichen Schal=tungen sind im zweiten Teil dieses Buches zusammengestellt und aus=fuhrlich beschrieben

Die Meßkoffer konnen auch mit ansteckbaren Beinen geliefert werden (vgl Abbild auf Seite 50), so daß sie ohne weiteres als Meß=tische benutzt werden konnen Diese Ausfuhrung ist besonders fur Abnahmeversuche an Ort und Stelle sehr zu empfehlen, da die zur Aufstellung der Instrumente erforderlichen Tische erfahrungsgemaß nicht immer zur Verfugung stehen

Tragbarer Betriebs-Leistungsmesser für Einphasenstrom mit äußerem Vorschaltwiderstand

Tragbarer Betriebs-Leistungsmesser für Drehstrom beliebiger Belastung, rechts mit angestecktem Schaltbügel zur Verwendung bei Einphasenstrom (vgl. Seite 82)

D. Tragbare Betriebs-Instrumente.

1. Allgemeines.

a) Anwendungsgebiet der Betriebs-Instrumente

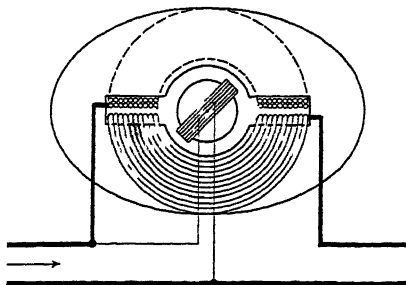
Die tragbaren Betriebs-Instrumente benutzt man uberall da, wo keine besonders hohen Anforderungen an die Meßgenauigkeit gestellt werden, wo es vielmehr auf großere mechanische Haltbarkeit und Unempfindlichkeit der Instrumente gegen etwaige elektrische Uberlastungen ankommt Sie werden demgemaß fur laufende Betriebsmessungen und bei Inbetriebsetzungen von Maschinen und Apparaten mit Vorteil verwendet Die Instrumente sind sowohl fur direkte als auch fur indirekte und halbindirekte Messungen geeignet Fur kleine und mittlere Strome und Spannungen bis etwa 600 Volt reichen die eingebauten Meßbereiche aus Fur großere Strome ist der Strommeßbereich 5 Ampere in Verbindung mit Stromwandlern, fur hohere Spannungen der Spannungsmeßbereich 120 bzw 130 Volt in Verbindung mit Spannungswandlern zu benutzen

Anstatt des fruher fur **Betriebs-Leistungsmesser** benutzten Drehfeld-Systems wird neuerdings das Eisenschluß-System verwendet Dieses neue System hat gegenuber dem Drehfeld-System den Vorzug, daß seine Angaben unabhangig von der Frequenz und bei Drehstrom auch unabhangig von der Phasenfolge sind Außerdem ist das Gewicht der Eisenschluß-Instrumente erheblich geringer, so daß diese als tragbare Instrumente unbedingt den Vorzug vor anderen verdienen Da die außere Schaltung der Betriebs-Leistungsmesser fur Einphasenstrom die gleiche ist wie die der Prazisions-Leistungsmesser, konnen sie in der gleichen Weise wie diese fur die im zweiten Teile des Buches angegebenen Drehstromschaltungen gebraucht werden Man hat hierbei gegenuber den eigentlichen Drehstrom-Instrumenten den Vorteil, daß die Meßgenauigkeit etwas großer wird Einesteils ist die Meßgenauigkeit der Einphasen-Instrumente infolge ihres einfacheren Aufbaues an sich großer als die der Drehstrom-Instrumente mit mehreren mechanisch gekuppelten Meßsystemen, andernteils steht bei zwei Einphasen-Instrumenten die doppelte Skalenlange fur die Ablesung zur Verfugung, so daß auch die Ablesegenauigkeit vergroßert wird Bei stark schwankender Strombelastung kann indessen die gleichzeitige Ablesung mehrerer Instrumente Schwierigkeiten bereiten, besonders wenn man mit ungeubten Arbeitskraften zu rechnen hat Man wird daher im letztgenannten Falle die Drehstrom-Instrumente vorziehen, die das Meßergebnis nur an einer Skala geben

Die **Strom- und Spannungsmesser** mit Dreheisen-System sollten ganz allgemein stets fur direkte Wechselstrom-Messungen benutzt werden Ihre Meßgenauigkeit reicht fur die weitaus meisten Falle vollkommen aus Hierbei ist zu beachten, daß die Strom- und Spannungsmessungen bei Wechselstrom durchaus nicht die Rolle spielen wie etwa bei Gleichstrom Bei Wechselstrom sind die Strom- und Spannungsmessungen nur Nebenumstande der wichtigeren Leistungsmessung, wahrend sie bei Gleichstrom unmittelbar die Leistung bestimmen Die Dreheisen-Instrumente zeichnen sich vor allen anderen Instrumenttypen durch ihre kraftige Bauart und ihre Unempfindlichkeit gegen elektrische Uberlastungen aus Die Hitzdraht-Instrumente sind dagegen besonders empfindlich gegen Uberlastungen und erfordern eine sachgemaße Behandlung Sie sollten daher nur dann benutzt werden, wenn man mit Dreheisen-Instrumenten nicht mehr auskommt Demgemaß wird das Anwendungsgebiet der Hitzdraht-Instrumente zweckmaßig auf die Falle beschrankt, bei denen man mit einem Strommesser eine großere Anzahl Strommeßbereiche oder mit einem Spannungsmesser kleine und großere Spannungsmeßbereiche beherrschen muß Das Hauptanwendungsgebiet der Hitzdraht-Instrumente liegt indessen in der Messung hochfrequenter Strome

Der Wert des **Leistungsfaktors** ergibt sich bei der Leistungsmessung durch gleichzeitige Messung des Stromes und der Spannung, so daß an sich hierfur ein besonderes Meßinstrument nicht erforderlich scheint Bei der Betriebsuberwachung von Maschinen ist es indessen vorteilhaft, den Wert des Leistungsfaktors ohne Berechnung unmittelbar an einem Zeigerinstrument abzulesen, da sich dann die etwaigen Anderungen des Leistungsfaktors leichter ubersehen lassen Man wird daher in diesem Falle gern einen besonderen Leistungsfaktormesser benutzen Dieser bietet gleichzeitig noch den weiteren Vorteil, daß er außer der Große des Leistungsfaktors noch den Richtungssinn anzeigt, so daß man auf einen Blick ubersieht, ob eine Phasenvoreilung oder -nacheilung des Stromes gegen die Spannung vorliegt, und wie groß diese ist

Die Messung der **Frequenz** ist bisher oft vernachlassigt worden, vielleicht aus dem Grunde, weil man beim Anschluß an ein vorhandenes Netz keine Moglichkeit hat, auf eine Anderung der durch das Netz gegebenen Frequenz hinzuwirken Bei eigenen Stromerzeugungsanlagen bietet jedoch der Frequenzmesser vor dem Tourenzahler den Vorteil, daß man die Frequenz an jeder Stelle der Anlage ablesen kann Dieser Vorteil kommt besonders fur Eichanlagen in Frage, bei denen man vom Eichplatz aus die Tourenzahl des Stromerzeugers uberwachen und regeln will

b) Aufbau des Eisenschluß-Systems für Leistungsmesser.

Das Meßsystem der Betriebs-Leistungsmesser ist nach elektrodynamischem Prinzip gebaut Es besitzt daher eine feststehende Stromspule, die vom Hauptstrom durchflossen wird, sowie eine im Feld dieser Spule drehbar angeordnete Spannungsspule, die an die zu messende Spannung angelegt wird Der Unterschied dieses Systems gegenuber dem bekannten elektrodynamischen System der Prazisions-Leistungsmesser liegt darin, daß die Systemkraftlinien im wesentlichen durch Eisen geschlossen sind Um dies zu erreichen, ist die Stromspule in einen aus Blechen aufgebauten Eisenkorper eingebettet In dem zylindrischen Hohlraum dieses Eisenkorpers bewegt sich die Drehspule, die ihrerseits wieder einen feststehenden Eisenkern umschließt Die Kraftlinien des Systems verlaufen daher auf dem großten Teile ihres Weges im Eisen und uberbrucken nur den Luftspalt, in dem sich die Drehspule bewegt

c) Charakteristische Eigenschaften des Eisenschluß-Systems.

Durch die neue Anordnung des Systems ist eine wesentliche Verstarkung des wirksamen magnetischen Feldes erreicht worden, so daß das bewegliche System bei geringem Gewicht ein sehr **kraftiges Drehmoment** entwickelt Dies ist gerade bei Betriebsmeßgeraten, die naturgemaß einer derberen Behandlung ausgesetzt sind, von Wichtigkeit, da hierdurch eine ungenaue Zeigereinstellung infolge von Reibungsfehlern vermieden wird Durch eine kraftig wirkende Dampfungsvorrichtung werden die Zeigerbewegungen gut gedampft

Weiterhin ist durch den Eisenkörper des Systems ein sehr guter **Schutz gegen Störungen durch magnetische Streufelder** gegeben. Eine gegenseitige Beeinflussung nebeneinanderstehender Instrumente ist daher nicht mehr zu befürchten, ebenso erfordert die Führung der Zuleitungen zum Instrument keine besondere Sorgfalt. Neben Apparaten, die stärkere magnetische Felder erzeugen, sowie neben Starkstrom führenden Leitungen wird man das Instrument ohnehin nicht aufstellen, jedoch werden auch bei Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßregel keine erheblichen Fehler auftreten.

Das Eisenschluß-System besitzt eine weitgehende **Unabhängigkeit von der Frequenz.** Die normalen Instrumente mit mehreren Meßbereichen können ohne weiteres für alle Frequenzen zwischen 10 und 100 Perioden in der Sekunde verwendet werden. Für Frequenzen bis 1000 Perioden werden die Instrumente als Sonderausführung mit nur einem Meßbereich geliefert. Von der Kurvenform des zu messenden Wechselstromes werden die Angaben des Instruments praktisch nicht beeinflußt. Die normalerweise mit Wechselstrom geeichten Instrumente können bei Kommutierung der Instrumentströme auch mit Gleichstrom nachgeprüft werden. Die hierbei auftretenden Abweichungen liegen innerhalb der Fehlergrenze dieser Instrumente.

Spannungsänderungen sind bis herab auf 50% des jeweiligen Meßbereiches ohne merklichen Fehler zulässig.

d) Energieverbrauch des Eisenschluß-Systems.

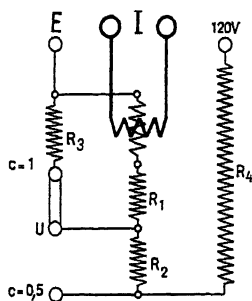
Der Energieverbrauch des Meßsystems ist sehr gering. Die Stromspule hat bei 5 Ampere und 50 Perioden einen Spannungsabfall von etwa 0,6 Volt. Der Spannungskreis ist bei den normalen Instrumenten mit ein und zwei Meßsystemen auf einen Stromverbrauch von genau 30 Milliampere abgeglichen. Es ergibt sich daher für diese Instrumente bei 120 Volt ein Energieverbrauch von 3,6 Voltampere für jeden Spannungskreis. Bei den Instrumenten mit 3 Meßsystemen beträgt der Spannungsstrom nur 20 Milliampere, so daß der Energieverbrauch des Spannungskreises bei 120 Volt Sternspannung 2,4 Voltampere für jede Phase beträgt.

2. Betriebs-Leistungsmesser für Einphasenstrom.

a) Innere Schaltung.

Bisher wurden bei Leistungsmessern die zwei **Strommeßbereiche** dadurch hergestellt, daß man eine zweiteilige Stromspule verwendete, deren Hälften entweder in Reihen- oder in Parallelschaltung verbunden wurden. Für diese Umschaltung der Stromspulen ist stets eine mehr oder weniger umständliche, jedenfalls aber recht teuere Umschaltvorrichtung erforderlich. Wenn außerdem noch die Bedingung gestellt wird, daß der Übergang von einem Strommeßbereich zum anderen ohne Stromunterbrechung vor sich gehen soll, kommt zu der Umschaltvorrichtung noch eine Kurzschlußvorrichtung, wodurch die Bedienung des Instruments noch mehr erschwert wird.

Die Eigenschaften des eisengeschlossenen dynamometrischen Systems gestatten es, durch eine wesentlich einfachere Umschaltung des Spannungskreises zwei **Leistungsmeßbereiche** zu erzielen. Die Wirkungsweise dieses neuen Umschaltverfahrens ist aus dem folgenden Schaltbild ersichtlich.

Steht der Umschalter U in der Stellung $c = 1$, so teilt sich der Spannungsstrom in zwei parallele Zweige. Die eine Hälfte des Spannungsstromes fließt durch die Spannungsspule des Leistungsmessers, während die andere Hälfte durch den Widerstand R_3 fließt. In der Schalterstellung $c = 0{,}5$ fließt der Spannungsstrom ungeteilt durch die Spannungsspule des Leistungsmessers. Damit der Gesamtwiderstand des Spannungskreises hierbei unverändert bleibt, wird gleichzeitig der Teil R_2 des Vorschaltwiderstandes kurzgeschlossen. Der Strom in der Spannungsspule wird also im Verhältnis 1 : 2 geändert, während der Gesamtstrom des Spannungskreises unverändert bleibt. Infolgedessen gelten auch die äußeren Vorschaltwiderstände in gleicher Weise für die durch die Umschaltung erzielten Meßbereiche.

b) Meßbereiche und Skalen.

Während man durch die bisher übliche Umschaltung der Stromspulen des Leistungsmessers lediglich zwei Strommeßbereiche und damit zwei Leistungsmeßbereiche mit verschiedenen Maximalströmen erhält, ergeben sich durch die neue Umschaltung der Spannungsspule zwei Leistungsmeßbereiche mit den gleichen Maximalströmen und Maximalspannungen. Dies entspricht aber, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, mindestens **4 Meßbereichen** im bisherigen Sinne.

Bedeutet

I = maximal zulässigen Strom des Instruments,

E = maximal zulässige Spannung des Instruments,

c = Instrument-Konstante,

so ergeben sich folgende Meßbereiche:

Meßbereich-Umschalter auf Stellung	Meßbereiche		
	Strom	Spannung	Leistungsfaktor $\cos \varphi$
$c = 1$	I	E	0,84
$c = 0,5$	$0,5\ I$	E	0,84
	I	$0,5\ E$	0,84
	I	E	0,42

Es ist nach dem Vorhergehenden wohl selbstverständlich, daß mit diesen Meßbereichangaben die Verwendungsmöglichkeiten des neuen Leistungsmessers mit Meßbereich-Umschalter nicht erschöpft sind. Die obigen Angaben sollen vielmehr lediglich einen Hinweis auf die Verwendungsmöglichkeiten geben, denn im Grunde kommt es nur darauf an, daß das Gesamtprodukt aus Strom, Spannung und Leistungsfaktor nicht größer als $0,5 \cdot I \cdot E \cdot \cos \varphi$ ist. Es ist also vollständig gleichgültig, ob ein kleiner Zeigerausschlag durch Verkleinerung des Stromes, der Spannung oder des Leistungsfaktors oder schließlich durch gleichzeitige Verkleinerung aller dieser Größen hervorgerufen wird. In jedem Falle wird durch Übergang auf den kleineren Leistungsmeßbereich der Zeigerausschlag des Instruments verdoppelt.

Hieraus ergibt sich auch die folgende, sehr einfache **Bedienungsvorschrift** für das Instrument:

Man schaltet den **Meßbereich-Umschalter zunachst auf Stellung $c = 1$ Wird hierbei der Zeigerausschlag gleich der Halfte der Skala oder kleiner, so legt man den Schalter, ohne die Messung zu unterbrechen, auf die Stellung $c = 0{,}5$ und verdoppelt auf diese Weise den Zeigerausschlag**

Es muß noch besonders darauf hingewiesen werden, daß der neue Meßbereich-Umschalter mit Umschaltung der Spannungsspule im Gegensatz zu den bisherigen Methoden der Meßbereich-Umschaltung (vgl Seite 27) auch bei Anschluß des Instruments an Strom- und Spannungswandler angewendet werden darf Da durch das Betatigen des Meßbereich-Umschalters der Energieverbrauch des Instruments, also auch die Ubersetzungsgenauigkeit der Meßwandler, nicht geandert wird, kann man bei halbem Zeigerausschlag durch Umschalten auf den kleineren Meßbereich des Instruments den Zeigerausschlag verdoppeln und somit die Meßgenauigkeit erhohen Hierbei ist es vollkommen gleichgultig, ob der vorherige kleinere Zeigerausschlag durch kleinen Strom oder kleine Spannung der Meßwandler oder auch durch kleinen Leistungsfaktor verursacht war

Die Betriebs-Leistungsmesser werden je nach Wahl fur einen Hochststrom von 5, 10, 25, 50 oder 100 Ampere ausgefuhrt Die Hochstspannung betragt fur alle Instrumente 120 Volt, sie kann durch außere Vorschaltwiderstande bis auf 600 Volt erhoht werden Alle Spannungskreise konnen dauernd um 10 %, kurzzeitig um 20 % uberlastet werden, eine Uberlastung der Stromspulen ist dagegen nicht zulassig

Die **Skalen** der Leistungsmesser sind direkt in Kilowatt geeicht Die Leistungsmeßbereiche sind so gewahlt, daß der volle Zeigerausschlag schon bei einem Leistungsfaktor von ungefahr $\cos \varphi = 0{,}84$ erreicht wird Es wird also bei der uberwiegenden Anzahl der Messungen mit $\cos \varphi < 1$ ein großerer Zeigerausschlag erzielt Auch bei $\cos \varphi = 1$ wird man in den meisten Fallen auskommen, da die Strom- und Spannungsmeßbereiche fast nie vollkommen ausgenutzt werden In den wenigen Fallen, in denen die Skala des Instruments nicht ausreicht, kann man sich dadurch helfen, daß man auf den nachsthoheren Spannungsmeßbereich des Vorschaltwiderstandes ubergeht

Bedeutet

α = Ablesung am Leistungsmesser in Kilowatt,

c = am Meßbereich-Umschalter abgelesene Instrument-Konstante,

so ist die **gemessene Leistung**

$$P = c \cdot \alpha \qquad \text{Kilowatt}$$

c) Schaltregeln fur Eisenschluß-Leistungsmesser.

Die Schaltregeln fur die Betriebs-Leistungsmesser mit Eisenschluß-System weichen nur hinsichtlich der Regel 1 von den Schaltregeln der Prazisions-Leistungsmesser (vgl Seite 35) ab

1 **Die Potentialdifferenzen zwischen der Stromspule und der Spannungsspule des Leistungsmessers sollen so klein wie moglich sein, sie sollen keinesfalls hoher als 500 Volt werden**

Im Gegensatz zu den Prazisions-Leistungsmessern ist bei den Betriebs-Leistungsmessern eine Potentialdifferenz von 500 Volt zwischen Stromspule und Spannungsspule zulassig Diese verhaltnismaßig hohe Spannung mußte einerseits aus konstruktiven Grunden bei den Leistungsmessern mit mehreren Meßsystemen zugelassen werden, andererseits brauchte man wegen des hoheren Drehmoments und der geringeren Meßgenauigkeit der Betriebs-Leistungsmesser auf Storungen durch elektrische Ladungserscheinungen keine Rucksicht zu nehmen

Die im folgenden angegebenen Schaltungen sind stets so angeordnet, daß die Potentialdifferenzen zwischen der Stromspule und der Spannungsspule des Instruments so klein wie irgend moglich werden

2 **Um einen richtigen Ausschlag des Zeigers in die Skala hinein zu erzielen, muß man so schalten, daß der Strom in zwei benachbarte Strom- und Spannungsklemmen eintritt oder aus beiden austritt**

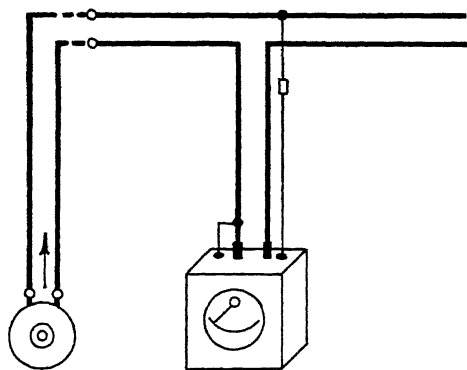
Der Strom muß daher entweder in die beiden linken oder in die beiden rechten Klemmen des Leistungsmessers eintreten

3 **Alle Spannungsleitungen, die nicht direkt mit der Stromspule des Instruments verbunden sind, sollen gesichert werden**

Die Sicherung der Spannungskreise war fruher nicht allgemein ublich, da man die Spannungskreise durch ihren hohen Ohmschen Widerstand fur genugend geschutzt hielt Wiederholte Unfalle haben indes gezeigt, daß eine Sicherung der Spannungskreise keineswegs entbehrlich ist, da schon durch ungunstige Lage der Spannungsleitungen großere Kurzschlusse entstehen konnen Die erforderlichen Sicherungen sind in allen Schaltbildern eingezeichnet

Bei allen Schaltungen ist vorausgesetzt, daß der Stromerzeuger links und der Stromverbraucher rechts liegt

d) Äußere Schaltung des Instruments für Spannungen bis 120 Volt.

Bei dem Aufbau der Schaltung sind die auf Seite 76 angegebenen Schaltregeln zu beachten Da die Spannungsspule bei den Instrumenten für Einphasenstrom stets unmittelbar an die linke Spannungsklemme *E* angeschlossen ist (vgl Innenschaltung auf Seite 73), werden alle Potentialdifferenzen zwischen der Stromspule und der Spannungsspule durch Verbindung dieser Klemme mit der Stromspule vermieden (Schaltregel 1) Die Anwendung der Schaltregeln 2 und 3 ergibt sich ohne weiteres aus dem nachstehenden Schaltbild

Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Kilowatt,

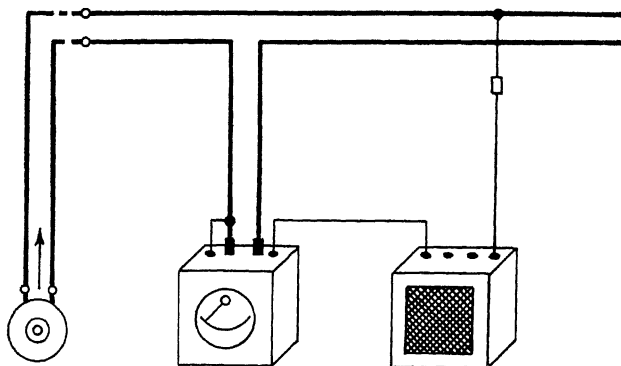
c = am Meßbereich-Umschalter abgelesene Instrument-Konstante,

so ist die gemessene Leistung

$$P = c \cdot \alpha \quad \text{Kilowatt}$$

Vollständige Meßschaltungen mit Leistungsmesser, Strommesser und Spannungsmesser sind im zweiten Teile des Buches angegeben Die dort für direkte, indirekte und halbindirekte Messungen mit Präzisions-Instrumenten angeführten Schaltungen gelten ohne weiteres auch für die Betriebs-Leistungsmesser, da die Klemmenanordnung dieser Instrumente die gleiche ist Für Drehstrom-Leistungsmessungen bei beliebiger Belastung der drei Zweige kommen die für die Zweileistungs-messer-Methode angegebenen Schaltungen in Frage

e) Vorschaltwiderstände.

Die Vorschaltwiderstande sind zum Anschluß an den 120-Volt-Meßbereich der Betriebs-Leistungsmesser fur Einphasenstrom bestimmt Sie werden fur Spannungen bis 600 Volt ausgefuhrt Da die Spannungskreise der Betriebs-Leistungsmesser auf einen Stromverbrauch von genau 30 Milliampere abgeglichen sind, konnen die Vorschaltwiderstande ohne weiteres zu jedem Betriebs-Leistungsmesser fur Einphasenstrom verwendet werden Es ergibt sich dann folgende Schaltung

Bedeutet

α = Ablesung am Instrument in Kilowatt,

c = am Meßbereich-Umschalter des Instruments abgelesene Instrument-Konstante,

C = an den Klemmen des Vorschaltwiderstandes angegebene Widerstands-Konstante fur den gewahlten Spannungsmeßbereich,

so ist die gemessene Leistung

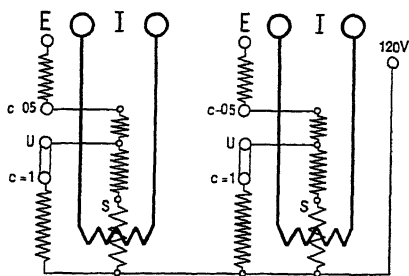
$$P = C \; c \; \alpha \qquad \text{Kilowatt}$$

Die Nullpunktwiderstande fur Drehstrom gleicher Belastung sind in ahnlicher Weise ausgefuhrt wie die auf Seite 226 beschriebenen Nullpunktwiderstande der Prazisions-Leistungsmesser Die Schaltungen sind daher in analoger Weise durchzufuhren

3. Betriebs-Leistungsmesser für beliebig belastete Drehstrom-Dreileiteranlagen.

a) Innere Schaltung.

Die Leistungsmesser fur Drehstrom beliebiger Belastung haben zwei mechanisch durch eine Bandubertragung gekuppelte Meßsysteme, die elektrisch entsprechend der Zweileistungsmesser-Methode angeschlossen werden

Die Metallband-Kuppelung, die die beiden beweglichen Systeme mechanisch verbindet, hat dazu gefuhrt, daß die beiden beweglichen Systeme *S* auch elektrisch miteinander verbunden werden Hierdurch wird eine Isolation zwischen den beiden beweglichen Systemen, die doch nur schwer und kaum mit der erforderlichen Sicherheit ausgefuhrt werden konnte, uberflussig Aus der elektrischen Verbindung der beweglichen Spulen ergibt sich die Lage der eingebauten und damit auch der außeren Vorschaltwiderstande Durch die Lage dieser Widerstande ist es bedingt, daß zwischen den feststehenden und den beweglichen Systemspulen die volle Betriebsspannung auftritt Diese Potentialdifferenzen bestimmen die zulassige Hohe der Spannungsmeßbereiche (vgl Seite 76) Die Instrumente werden daher mit außeren Vorschaltwiderstanden nur fur Spannungen bis 480 Volt ausgefuhrt, fur hohere Spannungen sind Spannungswandler zu verwenden

Die Wirkungsweise der beiden Meßbereich-Umschalter *U* ist bereits auf Seite 73 ausfuhrlich beschrieben, es ist nur noch hinzuzufugen, daß die beiden Umschalter mechanisch gekuppelt sind, so daß außen am Instrument nur ein Hebel zu bedienen ist

b) Meßbereiche und Skalen.

Durch den Meßbereich-Umschalter ergeben sich zwei Leistungsmeßbereiche Da jedoch fur beide Meßbereiche die gleichen Hochststrome

und Hochstspannungen zulassig sind, folgen hieraus mindestens **4 Meßbereiche** im bisherigen Sinne

Bedeutet

I = maximal zulassiger Strom des Instruments,

E = maximal zulassige Spannung des Instruments,

c = am Meßbereich-Umschalter des Instruments angegebene Instrument-Konstante,

so ergeben sich die folgenden Meßbereiche

Meßbereich-Umschalter auf Stellung	**Meßbereiche**		
	Strom	Spannung	Leistungsfaktor $\cos \varphi$
$c = 1$	I	E	0,96
$c = 0{,}5$	$0{,}5\ I$	E	0,96
	I	$0{,}5\ E$	0,96
	I	E	0,48

Die letzten drei Meßbereiche der obigen Tabelle enstprechen derselben Schalterstellung $c = 0{,}5$ Hieraus folgt ohne weiteres, daß es sich hierbei nicht um streng abgegrenzte Meßbereiche, sondern vielmehr um Verwendungsmoglichkeiten des Instruments handelt Es ist demnach vollstandig gleichgultig, ob ein kleiner Zeigerausschlag durch Verkleinerung des Stromes, der Spannung oder des Leistungsfaktors oder schließlich durch gleichzeitige Verkleinerung aller dieser Großen hervorgerufen wird In jedem Falle wird durch Ubergang auf den kleineren Leistungsmeßbereich der Zeigerausschlag des Instruments verdoppelt

Hieraus ergibt sich auch die folgende, sehr einfache **Bedienungsvorschrift** fur das Instrument

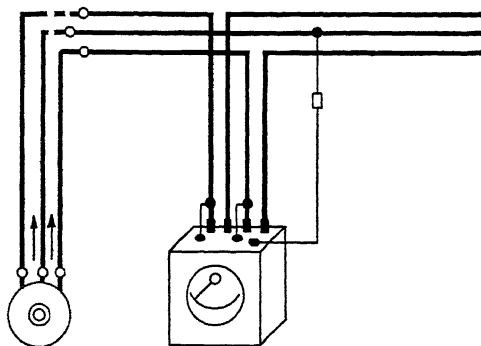
Man schaltet den Meßbereich-Umschalter zunachst auf Stellung $c = 1$ Wird hierbei der Zeigerausschlag gleich der Halfte der Skala oder kleiner, so legt man den Schalter, ohne die Messung zu unterbrechen, auf die Stellung $c = 0{,}5$ und verdoppelt auf diese Weise den Zeigerausschlag

Da durch das Betatigen des Meßbereich-Umschalters der Energieverbrauch des Instruments nicht geandert wird, kann man auch bei Verwendung von Strom- und Spannungswandlern durch Ubergang auf den kleineren Meßbereich des Instruments den Zeigerausschlag verdoppeln und somit die Meßgenauigkeit erhohen (vgl Seite 75)

Die Betriebs=Leistungsmesser fur Drehstrom beliebiger Belastung werden je nach Wahl fur einen **Maximalstrom** von 5, 10, 25, 50 oder 100 Ampere ausgefuhrt Die **Maximalspannung** betragt fur alle Instrumente 120 Volt, sie kann durch außere Vorschaltwiderstande bis auf 480 Volt erhoht werden Hohere Spannungsmeßbereiche sind nicht zulassig (vgl Seite 79) Alle Spannungsmeßbereiche konnen dauernd um 10 %, kurzzeitig um 20 % uberlastet werden, eine Überlastung der Stromspulen ist dagegen nicht statthaft

Die **Skalen** der Leistungsmesser sind direkt in Kilowatt geeicht und entsprechend dem großeren Leistungsmeßbereich beziffert Die Leistungsmeßbereiche sind so gewahlt, daß der volle Zeigerausschlag bei einem Leistungsfaktor von ungefahr $\cos\varphi = 0{,}96$ erreicht wird Auf diese Weise ergeben sich fur alle Instrumente runde Skalenwerte, die genau doppelt so groß sind wie die Meßbereiche der entsprechenden Instrumente fur Einphasenstrom (vgl Seite 75)

c) Außere Schaltung des Instruments.

Unter Beachtung der auf Seite 76 angegebenen Schaltregeln fur Eisenschluß=Leistungsmesser ergibt sich fur Drehstrom bei beliebiger Belastung der drei Zweige folgende Schaltung

Bedeutet.

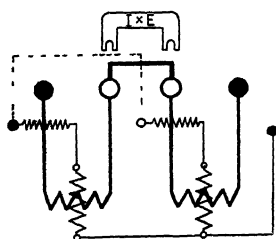
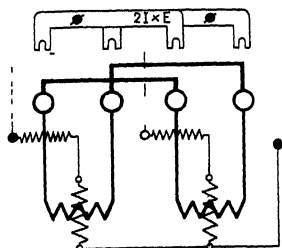
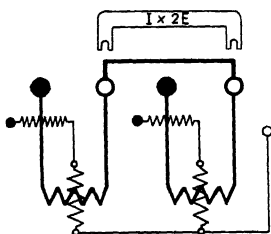
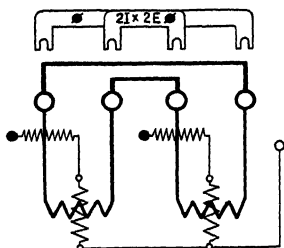
α = Ablesung am Instrument in Kilowatt,

c = am Meßbereich=Umschalter des Instruments abgelesene Instrument=Konstante,

so ist die gemessene Leistung

$$P = c \cdot \alpha \qquad \text{Kilowatt}$$

d) Verwendung des Instruments für Einphasenstrom.

Da bei dem Eisenschlußsystem eine gegenseitige Beeinflussung der beiden im Drehstrom-Leistungsmesser eingebauten Meßsysteme nicht stattfindet, kann man diese ohne weiteres auch für Einphasenstrom benutzen. Man kann hierbei die Stromspulen und ebenso die Spannungskreise in beliebigem Sinne parallel oder in Reihe schalten, man hat nur darauf zu achten, daß die Drehmomente beider Systeme in gleicher Richtung wirken. Es ergeben sich demnach für Einphasenstrom die folgenden vier Schaltungen:

Schaltung 1 Schaltung 2

Schaltung 3 Schaltung 4

Hierbei ist zu beachten, daß die Schaltungen 1 und 3 für alle Leistungsmesser, die Schaltungen 2 und 4 dagegen nur für Leistungsmesser mit Strommeßbereichen bis 50 Ampere angewandt werden dürfen.

Die Schaltung der Stromspulen wird in einfachster Weise durch **ansteckbare Schaltbugel** ausgefuhrt Die Aufschriften auf diesen Schaltbugeln entsprechen den mit den betreffenden Schaltungen erreichbaren Hochstmeßbereichen Die fur den außeren Anschluß des Leistungsmessers zu benutzenden Strom- und Spannungsklemmen sind in den Schaltbildern voll ausgezeichnet, der im Instrument eingebaute Meßbereich-Umschalter (vgl Seite 79) ist der Einfachheit halber in den Schaltbildern weggelassen

Den vier Schaltungen der Stromspulen entsprechen vier Hochstmeßbereiche, die ihrerseits wieder durch den Meßbereich-Umschalter des Instruments unterteilt werden konnen Es ergeben sich demnach die folgenden Meßbereiche

Ansteckbarer Schaltbugel fur	Konstante fur Einphasenstrom	Meßbereich-Umschalter auf Stellung	Meßbereiche		
			Strom	Spannung	Leistungsfaktor $\cos\varphi$
Schaltung 1	$C_E = 0{,}5$	$c = 1$	I	E	0,84
		0,5	$0{,}5\,I$	E	0,84
		0,5	I	$0{,}5\,E$	0,84
		0,5	I	E	0,42
Schaltung 2	$C_E = 1$	$c = 1$	$2\,I$	E	0,84
		0,5	I	E	0,84
		0,5	$2\,I$	$0{,}5\,E$	0,84
		0,5	$2\,I$	E	0,42
Schaltung 3	$C_E = 1$	$c = 1$	I	$2\,E$	0,84
		0,5	$0{,}5\,I$	$2\,E$	0,84
		0,5	I	E	0,84
		0,5	I	$2\,E$	0,42
Schaltung 4	$C_E = 2$	$c = 1$	$2\,I$	$2\,E$	0,84
		0,5	I	$2\,E$	0,84
		0,5	$2\,I$	E	0,84
		0,5	$2\,I$	$2\,E$	0,42

Bedeutet α = Ablesung am Instrument in Kilowatt,

c = am Meßbereich-Umschalter des Instruments abgelesene Instrument-Konstante,

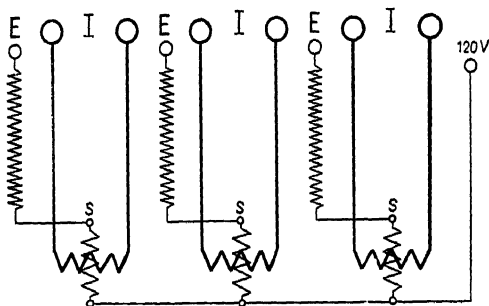
C_E = auf dem Schaltbugel angegebene Konstante fur Einphasenstrom,

so ist die gemessene Einphasenleistung

$$P = C_E \cdot c \cdot \alpha \quad \text{Kilowatt}$$

4. Betriebs-Leistungsmesser für Drehstrom-Vierleiteranlagen.

a) Innere Schaltung.

Die Leistungsmesser für Drehstrom-Vierleiteranlagen haben drei mechanisch durch eine Bandübertragung gekuppelte Meßsysteme, die elektrisch entsprechend der Drei-Leistungsmesser-Methode angeschlossen werden

Ebenso wie bei den Leistungsmessern mit 2 Meßsystemen (vgl Seite 79) sind auch hier die drei beweglichen Spulen *S* durch die Metallbandkuppelung elektrisch verbunden Zwischen den Stromspulen und den beweglichen Spannungsspulen tritt daher bei direktem Anschluß des Instruments ohne Stromwandler die volle Betriebsspannung auf Hierdurch wird die zulässige Höhe der Spannungsmeßbereiche bestimmt (vgl Seite 76)

b) Meßbereiche und Skalen.

Die Betriebs-Leistungsmesser für Drehstrom-Vierleiteranlagen werden nur mit einem Strommeßbereich 5 Ampere zum Anschluß an Stromwandler ausgeführt Der Spannungsmeßbereich beträgt für alle Instrumente 120 Volt Sternspannung und ist daher zum Anschluß an drei in Sternschaltung liegende Präzisions-Spannungswandler geeignet

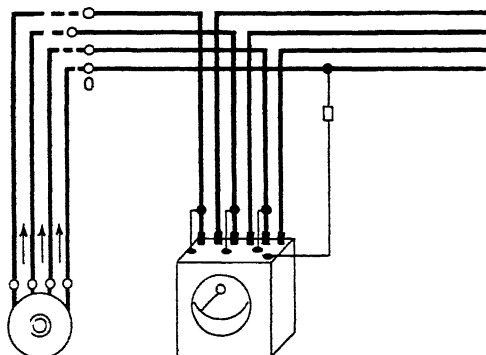
Fur Sternspannungen bis 240 Volt werden besondere Vorschaltwiderstande geliefert. Es ergeben sich demnach fur den Gebrauch des Instruments folgende Spannungsmeßbereiche:

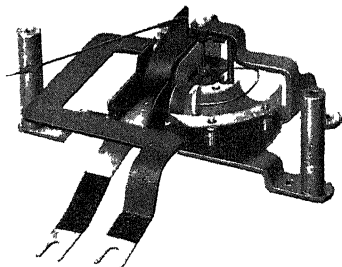
Sternspannung Volt	Netzspannung Volt
120	210
240	415

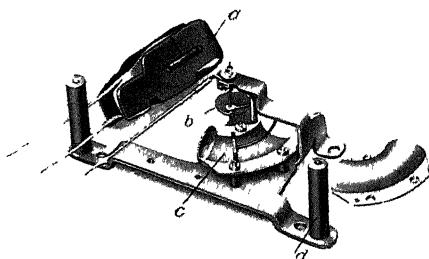
Alle Spannungsmeßbereiche konnen dauernd um 10%, kurzzeitig um 20% uberlastet werden, eine Überlastung der Stromspulen ist dagegen nicht statthaft.

Die **Skala** des Instruments ist direkt in Kilowatt geeicht. Der Leistungsmeßbereich ist so gewahlt, daß der volle Zeigerausschlag schon bei einem Leistungsfaktor von etwa $\cos \varphi = 0{,}83$ erreicht wird (vgl. Seite 75).

c) Außere Schaltung des Instruments.

Unter Beachtung der auf Seite 76 angegebenen Schaltregeln fur Eisenschluß-Leistungsmesser ergibt sich fur Drehstrom-Vierleiteranlagen folgende Schaltung:

Die Ablesung am Instrument ergibt direkt die zu messende Leistung, also

$$P = \alpha \qquad \text{Kilowatt.}$$

Gesamtansicht eines Dreheisen=Systems mit Kupferbandwickelung

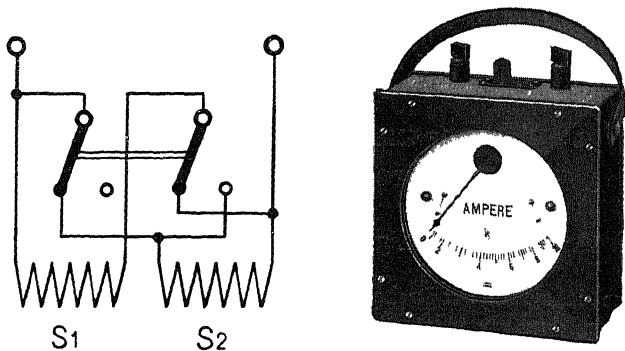
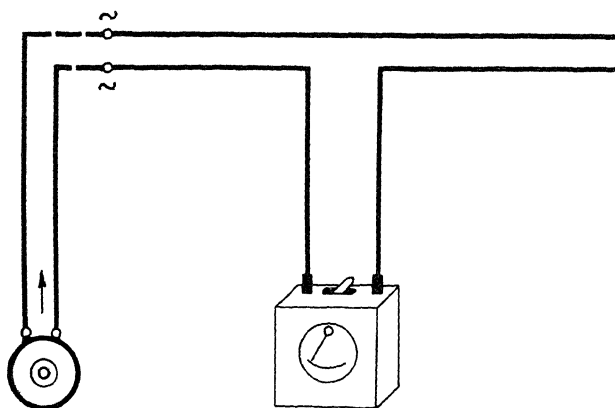
(Die Dampferkammer ist geoffnet)

Einzelteile eines Dreheisen=Systems

a) Spulenkasten mit Kupferdrahtwickelung,
b) Beweglicher Eisenkern,
c) Luftdampfung mit Rohr und Kolben,
d) Systemstock mit Skalentragern

5. Strom- und Spannungsmesser mit Dreheisen-System.

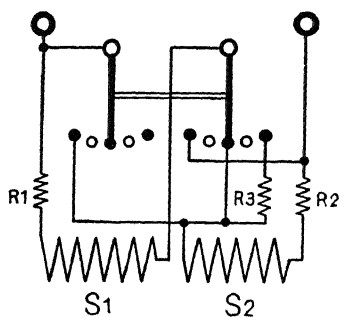
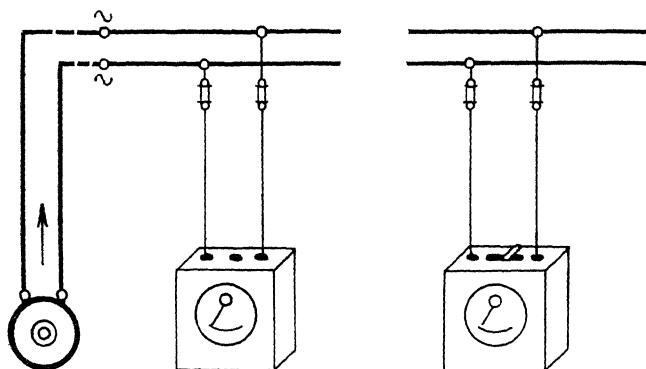
a) Aufbau und Eigenschaften des Meßsystems.

Das Meßsystem der Dreheisen-Instrumente besteht im wesentlichen aus einem **drehbar** gelagerten **Eisenstuckchen** und einer vom zu messenden Strome durchflossenen Feldspule Unter der Einwirkung des in der Feldspule fließenden Stromes wird das exzentrisch auf der Systemachse befestigte Eisenstuckchen in den Hohlraum der Feldspule hineingezogen und erzeugt so die Drehbewegung des Zeigers Als Gegenkraft zur Systemkraft dient hierbei eine Spiralfeder Da die Große der auf das Eisenstuckchen ausgeubten Kraft außer von der Stromstarke in der Feldspule noch von der Form und Lage des Eisenstuckchens abhangt, kann man den Verlauf der Skala willkurlich festlegen Bei den normalen Ausfuhrungen beginnt die Unterteilung der Skala bei einem Zehntel des Meßbereiches Die anfangs weite Unterteilung wird hierbei gegen das Ende der Skala immer mehr zusammengedrangt, so daß uber den ganzen Verlauf der Skala eine annahernd gleiche prozentuale Meßgenauigkeit erzielt wird

Die Richtung der Systemkraft ist von der Stromrichtung unabhangig, so daß die Instrumente ohne weiteres fur Wechselstrom und Gleichstrom benutzt werden konnen Die Unterschiede der Instrumentangaben bei beiden Stromarten sind sehr gering, die normalen Instru-

Innenschaltung und äußere Ansicht eines Dreheisen-Strommessers mit zwei Meßbereichen

Äußere Schaltung eines Dreheisen-Strommessers

mente werden daher stets mit einer mittleren Skala fur Wechselstrom und Gleichstrom versehen Bei Wechselstrom sind die Instrumente fur Frequenzen von 15 bis 100 Perioden bei beliebiger Kurvenform verwendbar, bei Gleichstrom ist durch fast vollkommene Vermeidung von Hysteresis-Erscheinungen eine sehr gute Übereinstimmung der Instrumentangaben bei auf- und absteigendem Strom vorhanden Die Zeigerbewegungen werden durch eine kraftig wirkende Luftdampfung gut gedampft, so daß die Einstellung des Zeigers fast aperiodisch erfolgt Etwaige kleine Veranderungen der Nullage des Zeigers konnen durch eine Nullpunkteinstellung leicht behoben werden Das Dreheisen-System zeichnet sich gegenuber den anderen Meßsystemen besonders durch seine kraftige Bauart und seine Unempfindlichkeit gegen Überlastungen aus Die Dreheisen-Instrumente werden daher mit Vorteil auch dann benutzt werden, wenn mit einer rauheren Behandlung durch ungeubte Personen zu rechnen ist

b) Strommesser mit Dreheisen-System.

Die tragbaren Betriebs-Strommesser mit Dreheisen-System werden fur Stromstarken bis 300 Ampere ausgefuhrt Der Eigenverbrauch der Instrumente betragt bei den Meßbereichen uber 1 Ampere durchweg etwa 1,5 bis 2 Watt, es ergibt sich demnach fur die niederen Strommeßbereiche ein hoherer und fur die hoheren Strommeßbereiche ein entsprechend niederer Spannungsabfall Außer den einfachen Instrumenten mit nur einem Meßbereich werden auch umschaltbare Instrumente mit 2 Meßbereichen ausgefuhrt Die beiden Meßbereiche werden hierbei durch Reihen- und Nebeneinanderschaltung von zwei elektrisch gleichwertigen Windungsgruppen hergestellt, es ist daher fur beide Meßbereiche auch nur eine Skalenteilung erforderlich Die Umschaltung geschieht ohne Stromunterbrechung und kann deshalb ohne weiteres wahrend der Messung vorgenommen werden, indem man den zwischen den beiden Anschlußklemmen angeordneten isolierten Schaltergriff umlegt Die umschaltbaren Strommesser werden fur Stromstarken bis 40 Ampere hergestellt Soll ein und derselbe Strommesser fur eine großere Reihe von Meßbereichen benutzt werden, so verwendet man ein 5-Ampere-Instrument in Verbindung mit den tragbaren Prazisions-Stromwandlern fur 5 Ampere Sekundarstrom Diese konnen dann auch gleichzeitig fur die etwa in der Schaltung befindlichen Leistungsmesser benutzt werden Sind

Innenschaltung eines umschaltbaren Dreheisen-Spannungsmessers für drei Meßbereiche

Äußere Schaltung der Dreheisen-Spannungsmesser, links Instrument mit drei Klemmen für zwei Meßbereiche, rechts mit Spannungsumschalter für drei Meßbereiche

Leistungsmesser nicht vorhanden und sollen ausschließlich Strommessungen ausgefuhrt werden, so kann man auch einen kleineren Stromwandler zum Aufsetzen auf bereits verlegte Leitungen verwenden, der jedoch gemeinsam mit dem Instrument geeicht sein muß Die Benutzung von außeren Nebenschlußwiderstanden ist bei den Dreheisen-Instrumenten nicht moglich, da die Systemwickelung des Dreheisen-Systems nur aus Kupfer besteht Wollte man ein solches System fur Nebenschlusse geeignet machen, so mußte man, um Temperatur- und Frequenzfehler zu vermeiden, einen verhaltnismaßig hohen Manganinwiderstand vorschalten, der dann wieder einen so großen Energieverbrauch bedingen wurde, daß die Nebenschlusse meßtechnisch nicht zu gebrauchen waren und außerdem ganz unverhaltnismaßig groß und teuer ausfallen wurden

Zur **Ausfuhrung einer Strommessung** werden die Strommesser unmittelbar in den zu untersuchenden Stromkreis eingeschaltet, wie es das Schaltbild auf Seite 88 zeigt Bei Instrumenten mit zwei Meßbereichen stellt man zweckmaßig den Umschalter zunachst auf den hoheren Meßbereich ein und schaltet erst bei entsprechend kleinem Zeigerausschlag auf den kleineren Meßbereich um

c) Spannungsmesser mit Dreheisen-System.

Die tragbaren Betriebsspannungsmesser mit Dreheisen-System konnen fur Spannungen bis etwa 600 Volt mit eingebauten Vorschaltwiderstanden ausgefuhrt werden Der Eigenverbrauch der Spannungsmesser betragt fur alle Meßbereiche bei vollem Zeigerausschlag etwa 8 bis 10 Watt Hiervon entfallen etwa 1,2 Watt auf die Feldspule, wahrend der Rest in den eingebauten Vorschaltwiderstanden verbraucht wird Da der Eigenverbrauch fur alle Meßbereiche annahernd gleich groß ist, wird der Stromverbrauch fur die kleineren Spannungsmeßbereiche hoher und fur die hoheren Spannungsbereiche entsprechend niedriger ausfallen Fur einen Spannungsmeßbereich 130 Volt ergibt sich z B bei vollem Zeigerausschlag ein Stromverbrauch von etwa 0,08 Ampere, wahrend der Stromverbrauch eines Instruments fur 600 Volt etwa 0,02 Ampere betragt Durch Unterteilung des Vorschaltwiderstandes laßt sich in einfacher Weise ein zweiter Meßbereich herstellen Da jedoch hierbei nur der Manganin-Vorschaltwiderstand bei dem gleichen Kupferwiderstand der Feldspule verkleinert wird, darf man den zweiten Meßbereich nicht kleiner als etwa die Halfte des großeren Meßbereiches wahlen, weil sonst der Temperaturkoeffizient fur den kleineren Meßbereich zu ungunstig werden wurde In vielen Fallen reicht jedoch die

einfache Halbierung des Meßbereiches nicht aus, da man sehr häufig mit demselben Instrument auch wesentlich kleinere Spannungen messen will. Man mußte zu diesem Zwecke die Feldspule des Instruments für den kleinsten vorkommenden Spannungsmeßbereich bemessen und die höheren Meßbereiche durch Vorschaltwiderstände herstellen. Die Bemessung der Feldspule für den kleinsten Meßbereich ergibt aber den Nachteil, daß der Stromverbrauch des Systems und damit auch der Stromverbrauch für alle höheren Meßbereiche wesentlich größer wird. Wegen der hierdurch verursachten größeren Erwärmung würde es unmöglich werden, die Vorschaltwiderstände in das Instrument einzubauen, ganz abgesehen davon, daß man für die höheren Spannungsmeßbereiche keinesfalls einen derartig hohen Stromverbrauch zulassen kann. Alle diese Schwierigkeiten werden durch die umschaltbaren Spannungsmesser behoben. Die Feldspule dieser Spannungsmesser besteht aus zwei elektrisch gleichwertigen Wickelungsgruppen S_1 und S_2 mit den zugehörigen Vorschaltwiderständen R_1 und R_2, die durch einen Umschalter nebeneinander und in Reihe geschaltet werden können. In der ersten Stellung des Schalters sind die beiden Gruppen $S_1 + R_1$ und $S_2 + R_2$ nebeneinander, in der zweiten Stellung in Reihe geschaltet. In der dritten Stellung bleibt die Reihenschaltung bestehen, es wird nur noch ein weiterer Widerstand R_3 vorgeschaltet. Sind bezüglich der Widerstandswerte der einzelnen Gruppen die Bedingungen erfüllt

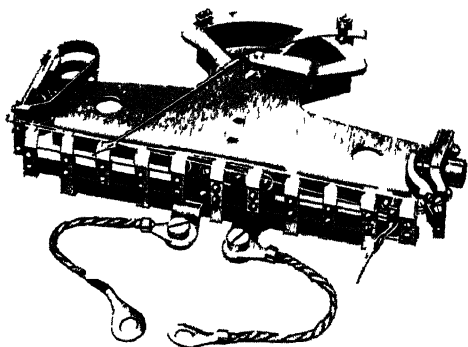
$$S_1 + R_1 = S_2 + R_2$$
$$R_3 = S_1 + R_1 + S_2 + R_2$$

so ergeben sich für die drei Schalterstellungen drei Meßbereiche, die sich wie 1 : 2 : 4 verhalten. Hierbei ist der Stromverbrauch des kleinsten Meßbereiches doppelt so hoch wie der Stromverbrauch der beiden höheren Meßbereiche. Infolgedessen bleibt auch der Eigenverbrauch für die beiden höheren Meßbereiche in den zulässigen Grenzen, und die Vorschaltwiderstände können ohne weiteres in das Instrument eingebaut werden. Die Temperaturkoeffizienten sind für alle drei Meßbereiche ausreichend günstig. Die beiden kleineren Meßbereiche haben den gleichen Temperaturkoeffizienten, da das Verhältnis Kupfer zu Manganin für beide Meßbereiche gleich groß ist. Für den höchsten Meßbereich ist der Temperaturkoeffizient infolge des größeren Manganin-Vorschaltwiderstandes etwas günstiger. Der Übergang von einem Meßbereich zum andern kann ohne weiteres während der Messung erfolgen, indem man den zwischen den beiden Anschlußklemmen angeordneten isolierten Schaltergriff auf den gewünschten Meßbereich einstellt.

Zur **Ausfuhrung einer Spannungsmessung** werden die Spannungsmesser an die Punkte gelegt, deren Spannungsunterschied gemessen werden soll Ist die Großenordnung der zu messenden Spannung nicht bekannt, so wahlt man zweckmaßig stets zunachst den großten Meßbereich des Instruments und geht erst bei entsprechend kleinem Zeigerausschlag zu den kleineren Meßbereichen uber Bei den Spannungsmessern mit zwei Meßbereichen geschieht dies durch Umlegen des rechten Anschlußdrahtes an die entsprechende Meßbereichklemme, bei den Instumenten mit drei Meßbereichen stellt man zunachst den Meßbereichumschalter auf den hochsten Meßbereich ein und schließt dann das Instrument mit seinen beiden Klemmen an die zu messende Spannung an Bei zu kleinem Zeigerausschlag geht man dann durch einfaches Umlegen des zwischen den Klemmen befindlichen isolierten Schaltergriffes zu den kleineren Meßbereichen uber

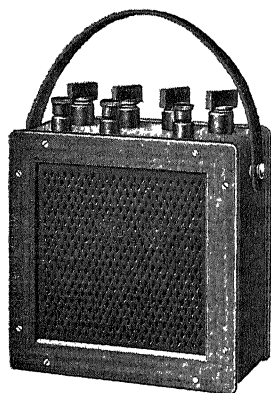
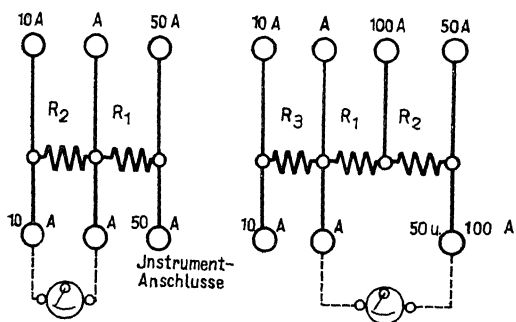
---

6. Strom- und Spannungsmesser mit Hitzdraht-System.

a) Aufbau und Eigenschaften des Meßsystems

Das Hitzdraht-System besteht im wesentlichen aus einem dunnen, zwischen zwei festen Punkten ausgespannten Draht, der von dem zu messenden Strome durchflossen und erhitzt wird Infolge der Erwarmung dehnt sich der Hitzdraht aus und biegt sich in der Mitte etwas durch Die Durchbiegung des Hitzdrahtes wird mechanisch auf das bewegliche Zeigersystem ubertragen und erzeugt so einen der Erwarmung des Hitzdrahtes entsprechenden Zeigerausschlag

Da die vom elektrischen Strom erzeugte Warme von dem Quadrate der Stromstarke abhangt, wird die Skala eines derartigen Instruments stets einen quadratischen Charakter haben, d h die Skalenteile werden am Anfang der Skala kleiner sein und am Ende der Skala großer werden

Da ferner die Stromwarme von der Stromrichtung unabhangig ist, muß die Skala fur Gleichstrom und Wechselstrom die gleiche sein Die durch Anderungen der Raumtemperatur verursachten zusatzlichen Langenanderungen des Hitzdrahtes und die hierdurch entstehenden Anderungen des Zeigerausschlages werden bei den Hitzdraht-Instrumenten der Siemens & Halske A.-G durch einen besonderen Kompensationsdraht in sehr vollkommener Weise beseitigt Bei dieser Anordnung kann die Hitzdrahttemperatur verhaltnismaßig niedrig gehalten werden, so daß die Gefahr einer Beschadigung des Systems bei Überlastung nach Moglichkeit verringert wird Gegenuber der Anordnung einer Montageplatte mit bestimmtem Ausdehnungskoeffizienten hat der Kompensationsdraht den Vorteil, daß er den Anderungen der Raumtemperatur sehr rasch folgt Dies ist gerade bei tragbaren Betriebsmeßgeraten, die bald hier, bald dort verwendet werden, sehr wichtig, da hierdurch Nullpunktveranderungen und fehlerhafte Angaben der Instrumente vermieden werden

Die Hitzdraht-Instrumente sind, wie bereits gesagt wurde, fur Gleichstrom und Wechselstrom mit der gleichen Skala verwendbar Die Angaben sind innerhalb weiter Grenzen von der Periodenzahl und der Kurvenform des zu messenden Wechselstromes unabhangig Auch bei Wellenstromen, d h bei Gleichstromen mit einem ubergelagerten Wechselstrom, konnen die Effektivwerte der Strome und Spannungen mit dem Hitzdraht-System einwandfrei gemessen werden Eine Beeinflussung der Instrumente durch benachbarte magnetische Streufelder findet praktisch nicht statt Da die Hitzdraht-Systeme eine dreifache Uberlastung kurzseitig aushalten, konnte bei den Strommessern von der Anbringung besonderer Systemsicherungen Abstand genommen werden Hiermit fallen auch die Unsicherheiten und die Beeintrachtigung der Meßgenauigkeit weg, die beim Anbringen von Sicherungen im Systemkreis der Strommesser entstehen wurden Bei den Spannungsmessern liegen derartige Bedenken nicht vor Die Spannungsmesser erhalten daher eingebaute Abschmelzsicherungen, die das Meßsystem bei gelegentlicher falscher Wahl des Meßbereiches nach Moglichkeit gegen Beschadigungen schutzen Durch eine kraftig wirkende Luftdampfung, die bei den Strommessern durch die Warmekapazitat des Hitzdrahtes noch wesentlich unterstutzt wird, ist eine sichere Zeigereinstellung auch bei unruhigen Betrieben gewahrleistet Etwaige Veranderungen der Nullage des Zeigers konnen mittels der eingebauten Nullpunkteinstellung leicht behoben werden

Mehrfach=Nebenschluß fur Hıtzdraht=Strommesser

Innenschaltung der obıgen Nebenschlusse fur zweı und dreı Meßbereıche

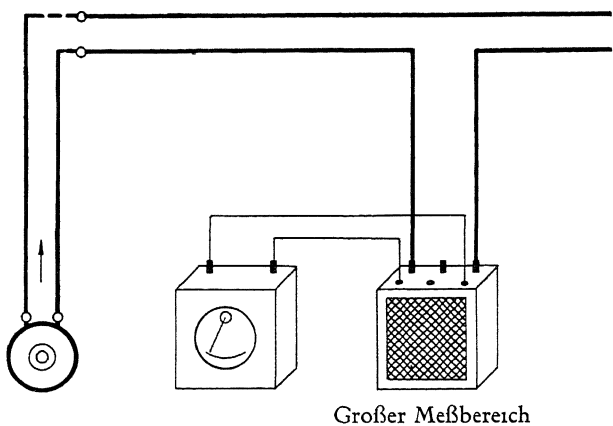
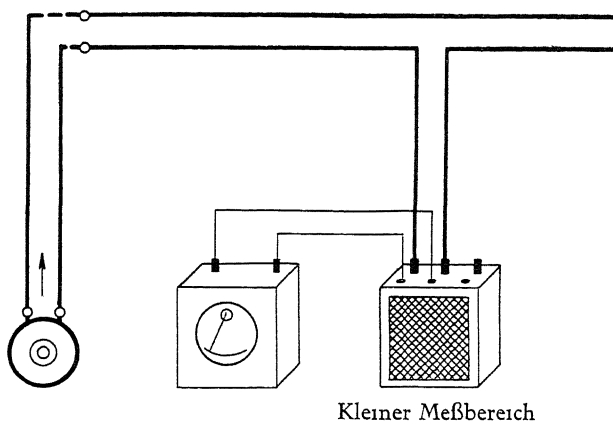
b) Strommesser mit Hitzdraht-System.

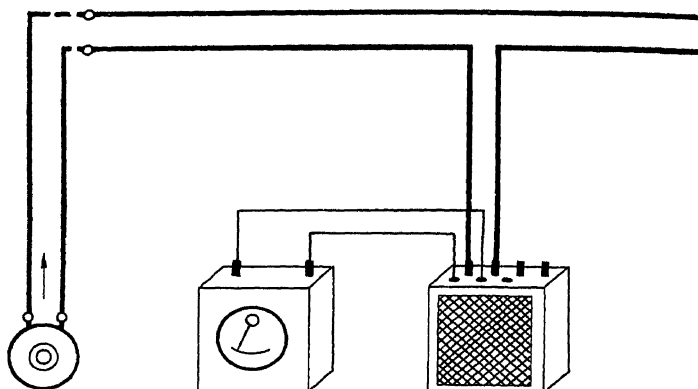
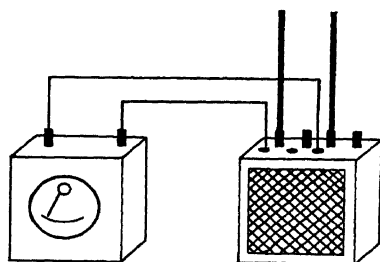
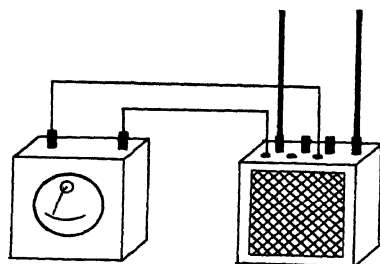
Die tragbaren Hitzdraht-Strommesser der Siemens & Halske A.-G zeichnen sich durch ihren verhaltnismaßig niedrigen Eigenverbrauch aus, der fur den Hitzdraht allein etwa 0,5 Watt betragt Da die Instrumente fur die kleineren Meßbereiche bis 5 Ampere nur mit einfachem bzw mehrfach unterteiltem Hitzdraht ohne Nebenschlußwiderstand ausgefuhrt werden, ergibt sich hieraus ohne weiteres der Spannungsabfall fur die verschiedenen Strommeßbereiche Ein Instrument fur 0,1 Ampere hat demnach bei vollem Strom einen Spannungsabfall von etwa 5 Volt, wahrend ein solches fur 1 Ampere nur einen Spannungsabfall von etwa 0,5 Volt aufweist Der Strommesser fur 5 Ampere ist zum Anschluß an außere Nebenschlußwiderstande bestimmt und ist daher auf einen Spannungsabfall von genau 0,15 Volt, gemessen an den freien Enden der an das Instrument angeschlossenen normalen Kupferzuleitungen von 1 m Lange und 10 qmm Querschnitt, abgeglichen Die hierzu gehorigen außeren Nebenschlußwiderstande sind ebenfalls auf einen Spannungsabfall von genau 150 Millivolt bei vollem Strom abgeglichen und daher beliebig vertauschbar Die Nebenschlusse werden sowohl mit einem als auch mit mehreren Meßbereichen ausgefuhrt Die Ausfuhrung mit einem Meßbereich wird ohne Gehause geliefert, eignet sich daher vorzugsweise fur großere Stromstarken von etwa 300 bis 1000 Ampere Die Nebenschlusse fur kleinere Stromstarken von 10 bis 250 Ampere werden zweckmaßig mit zwei und drei Meßbereichen hergestellt und in ein Holzgehause, das die gleichen Abmessungen wie die Instrumentgehause hat, fest eingebaut Die innere und damit auch die außere Schaltung dieser Mehrfach-Nebenschlußwiderstande weicht von der bekannten, bei den Drehspul-Instrumenten ublichen Ausfuhrung (vgl Seite 271) etwas ab Die Abanderung ist durch den hohen Stromverbrauch des fur außere Nebenschlußwiderstande bestimmten Hitzdraht-Instruments, das selbst schon 5 Ampere aufnimmt, und durch den niedrigsten Meßbereich des Mehrfach-Nebenschlusses, der zumeist 10 Ampere betragt, also den Instrumentstrom nur verdoppelt, bedingt Der fur den Meßbereich 10 Ampere dienende zusatzliche Nebenschlußwiderstand R_3, der bei den vorstehenden Stromverhaltnissen in der Großenordnung des Instrumentwiderstandes (R) liegt, wurde bei der bisherigen auf Seite 270 angegebenen Schaltung bei allen hoheren Meßbereichen als Vorschaltwiderstand vor dem Instrument liegen, es wurde sich daher fur alle hoheren Meßbereiche ein nahezu doppelt so großer Spannungsabfall (etwa 0,27 bis 0,29 Volt)

ergeben Abgesehen von der hierdurch verursachten Energievergeudung wurde dieser hohe Spannungsabfall eine doppelt so große Lange der Widerstande selbst und damit auch ein entsprechend großeres Gehause mit genugender Abkuhlflache bedingen, so daß man zu unhandlichen und dabei noch kostspieligen Ausfuhrungen kommen wurde Dieser Nachteil wird durch die neue Ausfuhrung des Mehrfach=Nebenschluß-widerstandes vermieden

Die Nebenschlußwiderstande fur zwei Meßbereiche sind hierbei durch einfaches Nebeneinanderlegen zweier Nebenschlusse entstanden, die hierdurch lediglich eine gemeinsame Anfangsklemme *A* erhalten haben Jeder dieser beiden Widerstande ist fur sich auf einen Spannungs abfall von 0,15 Volt abgeglichen Die Nebenschlußwiderstande fur 3 Meßbereiche sind aus einer Vereinigung der vorbeschriebenen mit der auf Seite 270 dargestellen Anordnung entstanden Der kleinste Meßbereich, der den Spannungsabfall fur die ubrigen hoheren Meß-bereiche ungunstig beeinflussen wurde, ist lediglich durch die gemeinsame Anfangsklemme mit dem kombinierten Nebenschluß fur die hoheren Meßbereiche verbunden Infolgedessen ergibt sich fur den kleinsten und den nachsthoheren Meßbereich ein Spannungsabfall von genau 0,15 Volt, wahrend der Spannungsabfall fur den hochsten Meß-bereich nur unwesentlich hoher (etwa 0,16 Volt) ist Bei der Ausfuhrung dieser Nebenschlußwiderstande sind die Anschlußklemmen etwas anders angeordnet als bei dem vorstehenden, moglichst ubersichtlich gezeichneten Prinzipschaltbild der Innenschaltung Da es bei der Ausfuhrung der Nebenschlußwiderstande in erster Linie darauf ankommt, eine moglichst einfache und ubersichtliche außere Schaltung zu erreichen, sind die Anschlußklemmen bei den ausgefuhrten Nebenschlußwiderstanden so angeordnet, daß die Meßbereiche in der ublichen Weise von links nach rechts ansteigen Hieraus ergibt sich ohne weiteres auch die nachstehend angegebene außere Schaltung der Nebenschlußwiderstande und Instrumente im Stromkreis

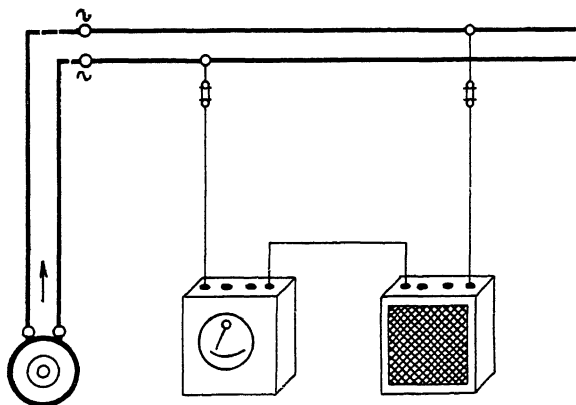
---

Kleiner Meßbereich

Großer Meßbereich

Äußere Schaltung der Doppel-Nebenschlußwiderstände
für Hitzdraht-Strommesser

Kleinster Meßbereich

Mittlerer Meßbereich

Größter Meßbereich

Außere Schaltung der Dreifach-Nebenschlußwiderstande fur Hitzdraht-Strommesser

c) Spannungsmesser mit Hitzdraht-System.

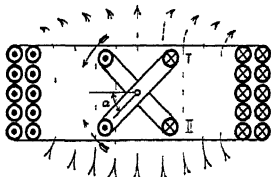
Die tragbaren Betriebs-Spannungsmesser mit Hitzdraht-System konnen nur fur Spannungen bis 130 Volt mit eingebauten Vorschaltwiderstanden versehen werden Sie erhalten je nach Wahl 1 bis 3 Meßbereiche Fur hohere Spannungen bis etwa 650 Volt sind außere Vorschaltwiderstande vorgesehen, die ebenfalls mit mehrfacher Unterteilung ausgefuhrt werden Der Stromverbrauch der Hitzdraht-Spannungsmesser betragt bei den kleineren Meßbereichen von 2,5 bis 10 Volt etwa 0,25 Ampere, bei allen Meßbereichen uber 10 Volt dagegen nur etwa 0,08 Ampere Dies entspricht bei den Meßbereichen bis 10 Volt einem inneren Widerstande von etwa 4 Ohm, bei allen Meßbereichen uber 10 Volt einem solchen von etwa 12,5 Ohm fur jedes Volt Da die Instrumente nicht genau auf den vorstehend angegebenen Stromverbrauch abgeglichen werden, sind die Vorschaltwiderstande auch nicht vertauschbar, sie konnen vielmehr nur zu dem zugehorigen Instrument verwendet werden Die außere Schaltung fur Spannungsmessungen ist folgende

Zur **Ausfuhrung einer Spannungsmessung** wird das Instrument allein bzw das Instrument mit Vorschaltwiderstand an die Punkte angelegt, deren Spannungsunterschied gemessen werden soll Hierbei ist zu beachten, daß die linke Anschlußklemme des Instruments fur alle Meßbereiche gemeinsam ist, wahrend die ubrigen Klemmen den von links nach rechts ansteigenden Meßbereichen entsprechen Die fur hohere

Spannungen erforderlichen außeren Vorschaltwiderstande sind mit ihrer Anfangsklemme *A* stets an den hochsten Meßbereich, d h an die außerste rechte Klemme des Instruments anzuschließen Ist die Große der zu messenden Spannung nicht annahernd bekannt, so schließt man zweckmaßig zunachst den großten Meßbereich an und geht erst bei entsprechend kleinem Zeigerausschlag durch Umlegen des rechten Anschlußdrahtes zu den kleineren Meßbereichen uber Da der Anschlußdraht Spannung fuhrt, muß das Umlegen stets mit entsprechender Vorsicht erfolgen Sollte durch unachtsame Bedienung des Instruments die eingebaute Sicherung durchgebrannt sein, so ist diese herauszuziehen und durch eine neue zu ersetzen Hierbei ist naturlich der Stromverbrauch des betreffenden Instruments in Betracht zu ziehen, d h es sind bei den Meßbereichen unter 10 Volt starkere und bei den hoheren Meßbereichen entsprechend schwachere Sicherungen zu wahlen

— — ——

7. Leistungsfaktormesser mit Kreuzspul-System.

a) Prinzip des Kreuzspul-Systems

Das Kreuzspul-System ist nach dem Prinzip des Elektrodynamometers aufgebaut Es besteht aus einer feststehenden Stromspule, die vom Hauptstrom durchflossen wird, und aus einem beweglichen System, das aus zwei um 90° versetzten Spannungsspulen zusammengesetzt ist

Die Wirkungsweise dieses Meßsystems ist im Prinzip die folgende Fließt in der feststehenden Spule ein Wechselstrom I und in der beweglichen Spule 1 ein Wechselstrom I_1, so ist das zwischen der feststehenden Spule und dieser Spule wirkende Drehmoment fur eine bestimmte gegenseitige Lage der beiden Spulen nach der bekannten Wattmetergleichung

$$D_1 = \text{const} \quad I \quad I_1 \quad \cos\varphi ,$$

wobei φ der Phasenverschiebungswinkel zwischen I und I_1 ist

Dreht sich die Spule 1 unter der Einwirkung dieses Drehmoments in dem homogenen Felde der feststehenden Spule, so andert sich die Große des Drehmoments mit dem Sinus des Winkels α zwischen der feststehenden und der beweglichen Spule, es wird ein Maximum, wenn beide Spulen senkrecht aufeinanderstehen, es wird Null, wenn die beiden Spulen in einer Ebene liegen Das Drehmoment zwischen der feststehenden Spule und der beweglichen Spule 1 wird daher ganz allgemein

1) $$D_1 = \text{const} \quad I \cdot I_1 \cdot \cos\varphi \quad \sin\alpha$$

Die Drehspule II ist mit Spule 1 mechanisch starr verbunden Sie ist also um dieselbe Achse drehbar, jedoch raumlich um 90° gegen Spule 1 versetzt Der in Spule II fließende Strom sei durch einen induktiven Widerstand zeitlich um annahernd 90° gegen den in Spule 1 fließenden Strom I_1, also um $90° - \varphi$ gegen den Hauptstrom I verschoben Das auf Spule II wirkende Drehmoment wird dann

$$D_2 = \text{const} \quad I \quad I_2 \quad \cos(90° - \varphi) \quad \sin(90° - \alpha),$$

$$\text{2)} \qquad D_2 = \text{const} \quad I \quad I_2 \quad \sin\varphi \quad \cos\alpha$$

Die Stromrichtung in den beiden Drehspulen ist so gewahlt, daß die beiden erzeugten Drehmomente einander entgegenwirken Es ergibt sich dann als Gleichgewichtsbedingung

$$D_1 = D_2$$

$$\text{const} \quad I \quad I_1 \quad \cos\varphi \quad \sin\alpha = \text{const} \quad I \quad I_2 \quad \sin\varphi \quad \cos\alpha$$

Hieraus folgt

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{I_1}{I_2} \quad \operatorname{tg}\alpha$$

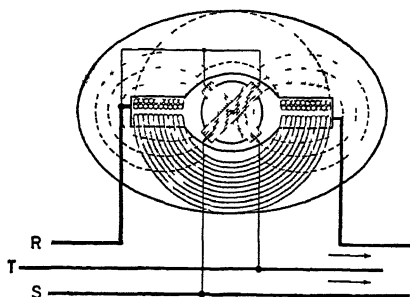
Das Verhaltnis der Spannungsstrome $\frac{I_1}{I_2}$ hangt lediglich von dem Ohmschen und den induktiven Widerstanden der beiden Spannungs kreise ab, es ist daher eine Konstante des Instruments Die Gleichung erhalt daher die einfache Form

$$\text{3)} \qquad \operatorname{tg}\varphi = \text{const} \quad \operatorname{tg}\alpha$$

Das heißt in Worten

Der Drehungswinkel α der Kreuzspule, also der Zeigerausschlag des Instruments, ist eine direkte Funktion des zu messenden Phasenverschiebungswinkels φ Die Skala des Instruments kann daher direkt in Werten des Leistungsfaktors geeicht werden

Aus den obigen Gleichungen geht weiter hervor, daß der Ausschlag α des Instruments auch dann noch eine Funktion des Phasenverschiebungswinkels φ bleibt, wenn die Phasenverschiebung δ zwischen den beiden Spannungsstromen I_1 und I_2 nicht gleich 90° ist Allerdings wird sich in diesem Falle das Skalengesetz des Instruments andern, da an die Stelle der Funktion $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\cos(90° - \varphi)}{\cos\varphi}$ die Funktion $\frac{\cos(\delta - \varphi)}{\cos\varphi}$ tritt Es besteht aber die Moglichkeit, den Ausschlag des Instruments durch passende Wahl des Verhaltnisses der beiden Spannungsstrome I_1 I_2 in gewunschter Weise zu verandern, so daß man in jedem Falle eine passende Skala erhalten kann (vgl Seite 108 und 110)

b) Das Eisenschluß⸗Kreuzspul⸗System.

Der Unterschied dieses Systems gegenuber dem vorher beschriebenen eisenlosen elektrodynamischen System liegt darin, daß die System⸗Kraftlinien im wesentlichen durch Eisen geschlossen sind Um dies zu erreichen, ist die Stromspule in einen aus Blechen aufgebauten Eisenkorper eingebettet In dem Hohlraume dieses Eisenkorpers bewegt sich die Kreuzspule, die ihrerseits wieder einen feststehenden Eisenkern umschließt Um einen einfacheren Systemaufbau zu ermoglichen, ist die Kreuzspule auf der Mantelflache einer Metalltrommel mit hohem spezifischem Widerstand angeordnet Die Stromzufuhrung zu den beiden Spulen erfolgt durch dunne Metallbandchen, die praktisch keine Richtkraft ausuben

Wahrend beim eisenlosen elektrodynamischen System die wirksamen Kraftlinien innerhalb der Stromspule annahernd in gleicher Dichte senkrecht zu der Spulenebene verlaufen und von den beweglichen Spulen unter verschiedenen Winkeln geschnitten werden, verlaufen die Kraftlinien des Eisenschluß⸗Systems in dem Luftspalt radial, d h sie treten senkrecht aus dem feststehenden Eisenkern aus Die beweglichen Spulen schneiden daher die Kraftlinien stets rechtwinkelig Die Dichte der Kraftlinien ist jedoch in der Polmitte am großten und nimmt nach beiden Seiten hin allmahlich ab, d h die Kraftliniendichte andert sich annahernd nach einem Sinusgesetz Infolgedessen andert sich auch das Drehmoment der Kreuzspulen bei ihrer Drehung nach dem Sinusgesetz, die im Abschnitt a entwickelten Gleichungen gelten also in derselben Weise fur das Eisenschluß⸗System

c) Charakteristische Eigenschaften des Systems.

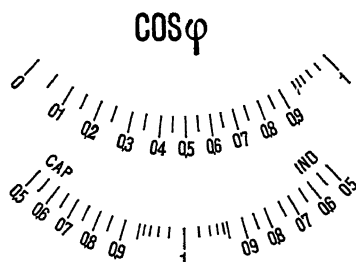
Aus der Gleichung 3 des Abschnittes a geht hervor, daß die Gleichgewichtslage des beweglichen Systems, also der Zeigerausschlag α, von der Große der in den Systemspulen fließenden Strome theoretisch unabhangig ist

Andererseits zeigen die Gleichungen 1 und 2, daß das Drehmoment, also die Kraft, mit der das System seiner Gleichgewichtslage zustrebt, den in den Spulen fließenden Stromen I, I_1 und I_2 direkt proportional ist Durch das Einbringen von Eisen in den Kraftlinienweg werden die wirksamen Magnetfelder des Systems außerordentlich verstarkt, so daß selbst ein viel kleineres und leichteres bewegliches System eine wesentlich großere Richtkraft ergibt Die Richtkraft ist bei dem Eisenschluß-System so groß, daß sie selbst dann, wenn der Hauptstrom I auf 10 % seines normalen Wertes gesunken ist, noch fur eine sichere Zeigereinstellung ausreicht Wird der Strom I noch kleiner, so kann die richtige Einstellung durch die Systemreibung und die Elastizitat der dunnen Stromzufuhrungsbander zum beweglichen System beeinflußt werden Da diese Stromzufuhrungen jedoch nur eine sehr geringe Richtkraft auf das System ausuben, hat der Zeiger des stromlosen Instruments keine bestimmte Ruhelage

Weiterhin ist durch den Eisenkorper des Systems ein sehr guter Schutz gegen Storungen durch magnetische Streufelder gegeben Eine gegenseitige Beeinflussung nebeneinanderstehender Instrumente ist daher nicht mehr zu befurchten, ebenso erfordert die Fuhrung der Zuleitungen zum Instrument keine besondere Sorgfalt Neben Apparaten, die starkere magnetische Felder erzeugen, sowie neben Starkstrom fuhrenden Leitungen wird man das Instrument ohnehin nicht aufstellen, jedoch werden auch bei Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßregel keine erheblichen Fehler auftreten

d) Ausfuhrungsarten und Skalen.

Die Leistungsfaktormesser werden fur Einphasenstrom und fur Drehstrom gleicher Belastung hergestellt Bei Drehstrom mit beliebiger Belastung der drei Zweige laßt sich ein mittlerer Leistungsfaktor nicht bestimmen (vgl Seite 183) Es bleibt in diesem Falle nur ubrig, die Leistungsfaktoren der drei Phasen einzeln mittels dreier Leistungsfaktormesser fur Einphasenstrom zu messen Allerdings ist hierzu erforderlich, daß der Nullpunkt des Drehstromsystems zuganglich ist

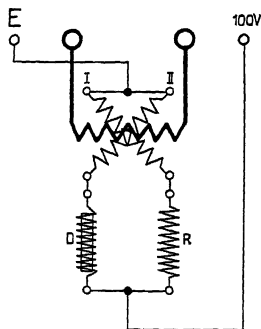
Die Leistungsfaktormesser sind zum Anschluß an Prazisions-Strom- und Spannungswandler bestimmt Die Stromspulen sind daher bei allen Ausfuhrungen fur 5 Ampere berechnet, wahrend die Spannungskreise fur 100 Volt ausgefuhrt sind Die Leistungsfaktormesser fur Drehstrom gleicher Belastung konnen außere Vorschaltwiderstande fur Spannungen bis 600 Volt erhalten Da die Skala des Instruments von den Spannungsmeßbereichen unabhangig ist, brauchen die Meßbereiche der Vorschaltwiderstande kein Vielfaches von 100 Volt zu sein

Die Skalen der Instrumente sind so gezeichnet, daß der Punkt $\cos\varphi = 1$ entweder am Ende oder in der Mitte der Skala liegt Im ersten Falle wird induktive Belastung (nacheilender Strom) angenommen

Durch eine besondere Anordnung ist erreicht worden, daß die Skalen der Instrumente fur Einphasenstrom den gleichen Verlauf haben wie die Skalen fur Drehstrom gleicher Belastung

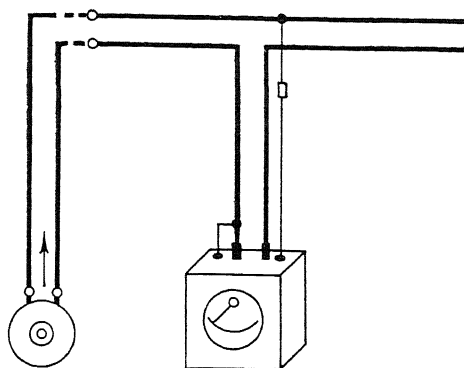
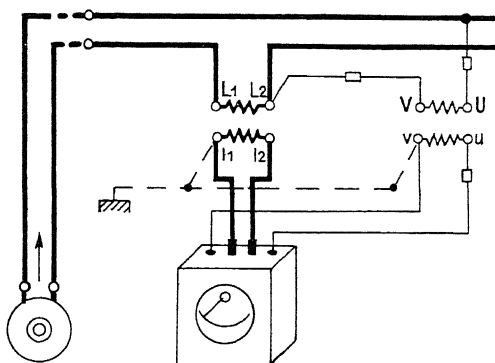
e) Energieverbrauch des Systems

Der Spannungsabfall in der fur 5 Ampere bemessenen Stromspule der Leistungsfaktormesser betragt bei Frequenz 50 etwa 3,5 Volt, bei Frequenz 25 etwa 2 Volt Der Stromverbrauch im Spannungskreis betragt bei den Instrumenten fur Einphasenstrom etwa 0,06 Ampere, bei den Instrumenten fur Drehstrom etwa 0,03 Ampere fur jeden Spannungskreis Fur 100 Volt Netzspannung ergibt sich demnach fur den Spannungskreis der Instrumente fur Einphasenstrom ein Energieverbrauch von etwa 6 Voltampere Bei den Instrumenten fur Drehstrom gleicher Belastung betragt bei 100 Volt der Energieverbrauch fur jeden der beiden Spannungskreise etwa 3 Voltampere

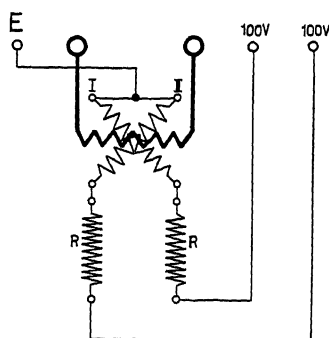
f) Innere Schaltung des Instruments fur Einphasenstrom.

Nach den Ausfuhrungen auf Seite 104 mussen die in den beiden raumlich um 90° versetzten Spannungsspulen fließenden Wechselstrome auch zeitlich gegeneinander verschoben sein Um eine moglichst gute Skala zu erzielen, ist eine Phasenverschiebung von 90° zwischen den beiden Spannungsstromen anzustreben Diese Phasenverschiebung muß bei den Instrumenten fur Einphasenstrom durch die Innenschaltung kunstlich erzeugt werden Es ergibt sich dann folgende Innenschaltung des Instruments

Die Spannungsspule I ist uber einen Ohmschen Widerstand R an die Spannung angeschlossen Der Strom in der Spannungsspule I ist dann mit der angelegten Spannung phasengleich In der Spannungsspule II wird mit Hilfe einer Kunstschaltung, die aus der Drosselspule D und einigen in das Schaltbild nicht eingezeichneten Ohmschen Widerstanden besteht, ein Strom erzeugt, der um etwa 90° hinter der angelegten Spannung zuruckbleibt Die Strome in den Spulen I und II sind demnach auch gegeneinander um 90° zeitlich verschoben Die Große der beiden Spannungsstrome I_1 und I_2 ist bei dem Instrument fur Einphasenstrom so gewahlt, daß $I_2 = \sqrt{3} \; I_1$ ist

g) Außere Schaltung des Instruments fur Einphasenstrom.

Durch die Drosselspule, die zur kunstlichen Erzeugung einer Phasenverschiebung zwischen den Stromen in den beiden Spannungsspulen erforderlich ist, wird der Leistungsfaktormesser fur Einphasenstrom von der Frequenz abhangig Die Abweichungen von der normalen Frequenz durfen nicht mehr als $\pm 5\,\%$ betragen Dagegen sind Spannungsschwankungen von $\pm 10\,\%$ zulassig

Direkte Einschaltung eines Leistungsfaktormessers für Einphasenstrom

Schaltung eines Leistungsfaktormessers für Einphasenstrom mit Strom- und Spannungswandler

h) Innere Schaltung des Instruments fur Drehstrom.

Bei den Leistungsfaktormessern fur Drehstrom gleicher Belastung ist es nicht erforderlich, im Instrument selbst eine kunstliche Phasenverschiebung zwischen den beiden Spannungsstromen herzustellen Es genugt vielmehr, wenn man die im Drehstromnetz vorhandenen Phasenverschiebungen im richtigen Sinne benutzt Die im Netz vorhandenen Phasenverschiebungen zwischen den drei Spannungen

betragen 120° Schließt man die eine der Spannungen mit vertauschten Polen an, so erhalt man eine Phasenverschiebung von 60° Diese genugt aber, fur das Instrument annahernd die gleichen Wirkungen hervorzubringen wie die in der Ableitung auf Seite 104 geforderten 90° Um bei dieser Phasenverschiebung die gleiche Skala wie bei den Instrumenten fur Einphasenstrom zu erhalten, sind die beiden Spannungsstrome bei den Instrumenten fur Drehstrom gleich groß gewahlt worden, also $I_1 = I_2$ Außerdem ist die Stellung des beweglichen Systems gegen den Zeiger um 45° gegenuber der Zeigerstellung bei den Instrumenten fur Einphasenstrom gedreht worden

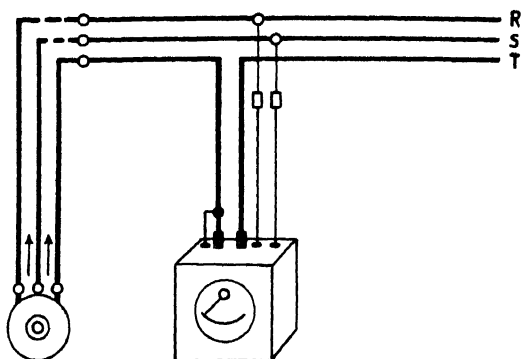
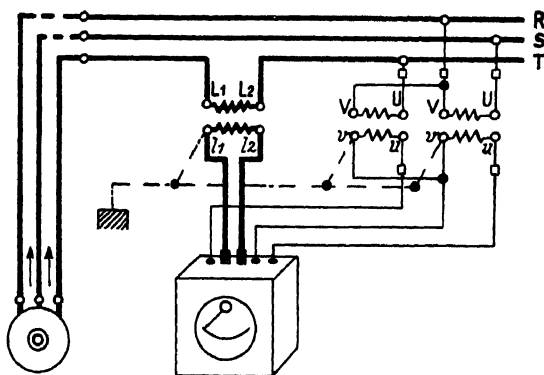
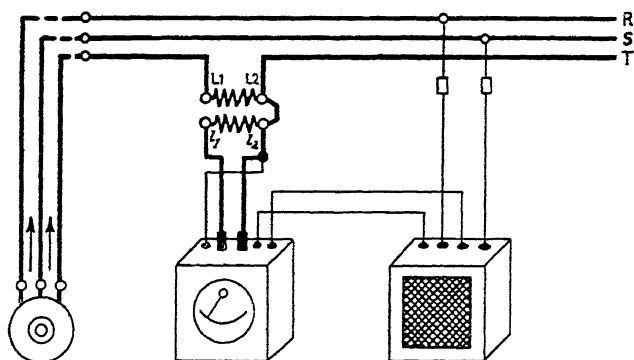
Da im Instrument die im Netz vorhandenen Phasenverschiebungen benutzt werden, erhalten die beiden Spannungsspulen nur rein Ohmsche Vorschaltwiderstande *R*, die an 2 getrennte Spannungsklemmen angeschlossen sind

i) Außere Schaltung des Instruments fur Drehstrom.

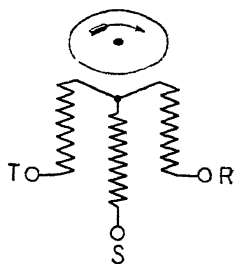
Bei dem Anschluß des Leistungsfaktormessers an das Netz ist die Phasenfolge zu beachten, da von dieser die Ausschlagsrichtung des Zeigers abhangt Bei der auf den Schaltbildern angegebenen Phasenfolge zeigen die Instrumente mit einseitigem Ausschlag die Phasenverschiebung bei induktiver Belastung an

Kehrt man die Phasenfolge im Instrument durch Vertauschen der beiden auf der rechten Seite des Instruments liegenden Spannungsanschlusse um, so kehrt sich auch der Richtungssinn der zu messenden Phasenverschiebung um, d h das Instrument zeigt ohne weiteres auf derselben Skala die kapazitive Phasenverschiebung im Netz an

In den meisten Fallen wird sich bei Anschluß eines Leistungsfaktormessers fur Drehstrom eine besondere Messung der Phasenfolge erubrigen, da es meist im voraus bekannt ist, ob die Belastung eines Netzes induktiv oder kapazitiv ist Man kann dann unmittelbar aus der Ausschlagsrichtung ersehen, ob das Instrument richtig angeschlossen ist Ein falscher Anschluß wird sich bei den Leistungsfaktormessern mit einer Skala „cos φ = 1 am Ende" dadurch zeigen, daß der Zeiger aus der Skala hinausgeht Bei einer Skala „cos φ = 1 in der Mitte" wird bei falschem Anschluß der Ausschlag einen unwahrscheinlichen Richtungssinn der Phasenverschiebung ergeben Folgt aus der Art der Belastung nicht unmittelbar, ob eine induktive oder kapazitive Phasenverschiebung vorliegt, so bestimmt man die Phasenfolge mittels eines Drehfeldrichtungsanzeigers (vgl Seite 113)

Da der Leistungsfaktormesser fur Drehstrom gleicher Belastung im wesentlichen nur Ohmsche Widerstande enthalt, laßt sich der Spannungsmeßbereich des Instruments ohne weiteres durch außere Vorschaltwiderstande erhohen Aus dem gleichen Grunde konnen auch die **Frequenzschwankungen** erheblich großer sein als beim Instrument fur Einphasenstrom Die Frequenz kann bis ± 20 % von ihrem normalen Werte abweichen Auch **Spannungsschwankungen** beeinflussen das Instrument fur Drehstrom nur wenig, so daß Spannungsschwankungen bis ± 50 % keine erheblichen Fehler verursachen, allerdings sind Spannungserhohungen uber 10 % wegen der Erwarmung des Instruments nur kurzzeitig zulassig

Direkte Einschaltung eines Leistungsfaktormessers
für Drehstrom gleicher Belastung
Beim Anschließen ist die Phasenfolge zu beachten

Schaltung eines Leistungsfaktormessers
für Drehstrom gleicher Belastung mit Strom- und Spannungswandlern
Beim Anschließen ist die Phasenfolge zu beachten

Schaltung eines Leistungsfaktormessers fur Drehstrom gleicher Belastung mit Stromwandler und Vorschaltwiderstand Die Vorschaltwiderstande konnen fur Spannungen bis 600 Volt hergestellt werden

k) Bestimmung der Phasenfolge in einem Drehstromnetz.

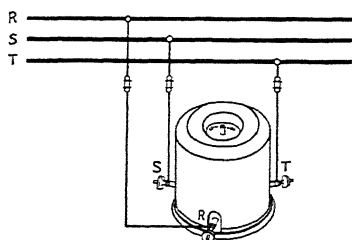
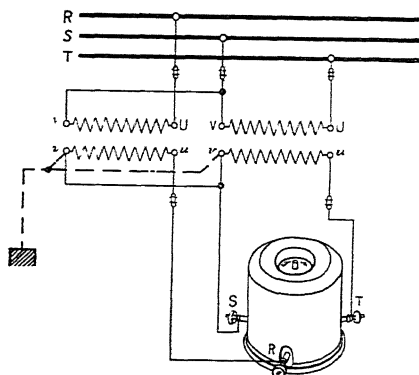
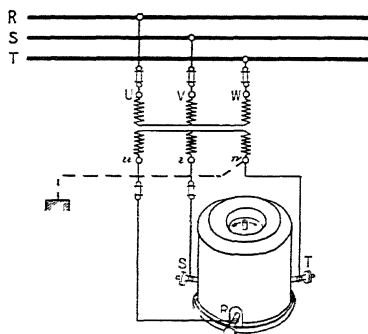
Zur Bestimmung der Phasenfolge in einem Drehstromnetz dient der **Drehfeldrichtungsanzeiger** Dieser ist im wesentlichen ein kleiner Induktionsmotor, der aus einem Elektromagneten mit drei um 120° versetzten Magnetpolen und einem Kurzschlußanker besteht Die Wickelungen des Elektromagneten sind einerseits in Sternschaltung verbunden und andererseits zu drei Anschlußklemmen gefuhrt Als Kurzschlußanker dient eine kleine Metallscheibe, die leicht drehbar uber den Magnetpolen angeordnet ist Schließt man die drei Klemmen des Apparates an ein Drehstromnetz an, so erzeugen die drei Magnetpole ein Drehfeld Durch dieses werden in der Metallscheibe Strome induziert, und es entsteht ein Drehmoment,

das die Scheibe im Sinne des Drehfeldes mitnimmt Da die Drehrichtung durch die Phasenfolge bestimmt wird, kann man ruckwarts aus der Drehrichtung der Scheibe auf die Phasenfolge des angeschlossenen Drehstromnetzes schließen

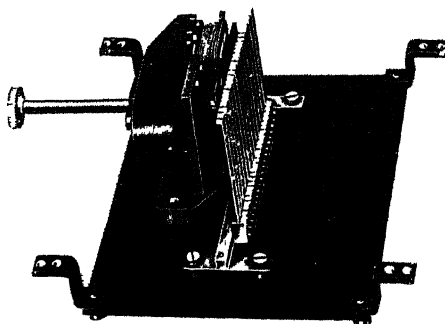
Bei **direktem Anschluß** des Drehfeldrichtungsanzeigers an das Netz ist die Bestimmung der Phasenfolge in folgender Weise auszufuhren Man verbindet die drei Leitungen des Drehstromnetzes mit den drei Klemmen des Drehfeldrichtungsanzeigers und beobachtet, ob sich dessen Scheibe in der auf ihr angegebenen Pfeilrichtung bewegt Ist dies nicht der Fall, so mussen zwei Leitungen an dem Drehfeldrichtungsanzeiger vertauscht werden Stimmt die Drehrichtung der Scheibe, also des Drehfeldes, mit der Pfeilrichtung uberein, so gilt die an den Klemmen des Drehfeldrichtungsanzeigers angegebene Phasenfolge Man bezeichnet dann die Leitung, die an die Klemme *R* des Drehfeldrichtungsanzeigers fuhrt, mit *R*, die Leitung, die an die Klemme *S* fuhrt, mit *S* und endlich die Leitung, die an die Klemme *T* fuhrt, mit *T* Damit ist die Phasenfolge *RST* des Drehstromnetzes bekannt

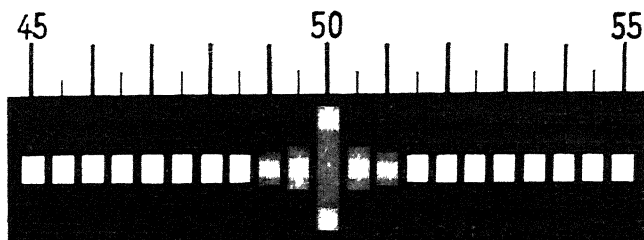
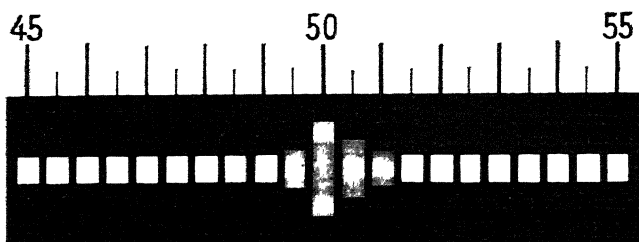
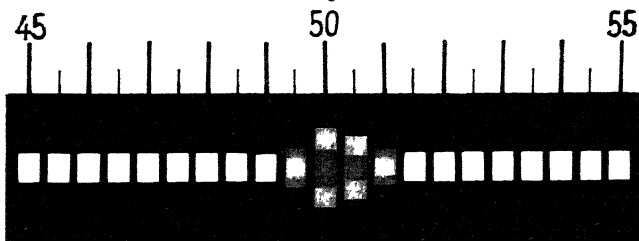
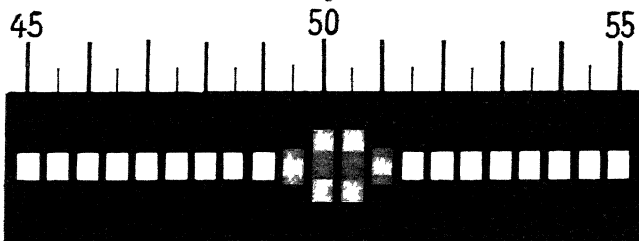
Stimmen die so gefundenen Bezeichnungen nicht mit den bereits fur die Sammelschienen vorgesehenen Bezeichnungen uberein, so kann man alle drei Anschlusse am Drehfeldrichtungsanzeiger um eine Klemme nach vorwarts oder nach ruckwarts verschieben, bis die gewunschte Übereinstimmung erreicht ist Der Drehsinn wird durch eine solche zyklische Klemmenvertauschung nicht beeinflußt

Bei Benutzung von **Einphasen-Spannungswandlern** in *V*-Schaltung ergibt sich das mittlere Schaltbild auf der nebenstehenden Seite Die auf der Sekundarseite bestimmte Phasenfolge *RST* gilt ohne weiteres auch fur die Primarleitungen, die an die entsprechenden Klemmen der Spannungswandler angeschlossen sind (vgl Seite 143)

Bei Verwendung von **Drehstrom-Spannungswandlern** ist darauf zu achten, daß der Phasenfolge *RST* der Leitungen die Phasenfolge *UVW* der Transformatorklemmen entsprechen muß Der Drehfeldrichtungsanzeiger ist daher stets so anzuschließen, daß seine Klemmen *R* mit *u*, *S* mit *v* und *T* mit *w* verbunden sind

Ergibt sich hierbei eine verkehrte Drehrichtung der Scheibe des Drehfeldrichtungsanzeigers, so sind stets zwei Primaranschlusse zu vertauschen Dreht sich hierauf die Scheibe des Drehfeldrichtungsanzeigers in der Pfeilrichtung, so entspricht die Phasenfolge *RST* auf der Primarseite der primaren Klemmenbezeichnung *UVW* des Spannungswandlers

Drehfeldrichtungsanzeiger in direkter Schaltung

Drehfeldrichtungsanzeiger mit zwei Spannungswandlern in V-Schaltung

Drehfeldrichtungsanzeiger mit Drehstrom-Spannungswandler

8. Zungenfrequenzmesser.

Das **Meßsystem** der Zungenfrequenzmesser beruht auf dem Resonanzprinzip. Es besteht aus einer Reihe abgestimmter Federn, sogenannter Zungen, die auf einem gemeinsamen Stege befestigt sind. Dieser Steg mit den Zungen, der Zungenkamm, trägt einen Anker, der einem feststehenden Elektromagneten gegenübersteht. Wird dieser Elektromagnet von dem zu untersuchenden periodischen Strome durchflossen, so gerät der Anker und mit ihm der Zungenkamm mit allen daran befestigten Zungen in leichte Schwingungen. Diejenige Zunge jedoch, deren Eigenschwingungszahl mit der Frequenz der Impulse übereinstimmt, gerät infolge der Resonanzwirkung in sehr heftige Schwingungen. Auf diese Weise entsteht ein Schwingungsbild, wie es auf der nebenstehenden Abbildungsseite für eine Reihe von Fällen dargestellt ist.

Die **Erregung des Zungenkammes** kann entweder durch einen gewöhnlichen oder einen polarisierten Elektromagneten erfolgen. Bei Verwendung eines gewöhnlichen Elektromagneten wird der Anker des Zungenkammes in jeder vollen Periode des Wechselstromes zweimal angezogen. Es entsprechen daher jeder Periode des Wechselstromes zwei volle Schwingungen der Zungen.

Ablesung = 50,25

Schwingungsbilder eines Zungenfrequenzmessers

Bei einem polarisierten Elektromagneten dagegen erfolgt wahrend einer Periode des Wechselstromes nur eine Verstarkung und Schwachung des Magnetfeldes Es tritt somit in der gleichen Zeit nur eine einmalige Anziehung auf, so daß hier eine volle Periode des Wechselstromes nur einer vollen Schwingung der Zungen entspricht Man kann daher durch abwechselnde Verwendung eines gewohnlichen und eines polarisierten Elektromagneten zwei Meßbereiche herstellen, die im Verhaltnis von 1 2 stehen Hierzu wird auf dem Instrument ein Umschalter angebracht, der entweder einen gewohnlichen oder einen polarisierten Elektromagneten auf denselben Zungenkamm schaltet Da die Zungen fur Schwingungszahlen von 15 bis 600 Schwingungen in der Sekunde hergestellt werden konnen, ergibt sich fur Wechselstrom bei Verwendung eines gewohnlichen Elektromagneten ein ausfuhrbarer Frequenzmeßbereich von 7,5 bis 300 Perioden, bei Verwendung eines polarisierten Elektromagneten dagegen ein Frequenzmeßbereich von 15 bis 600 Perioden in der Sekunde Die Verdoppelung des Meßbereiches laßt sich naturgemaß nur bei Wechselstrom, nicht aber bei intermittierendem Gleichstrom anwenden In diesem Falle konnen die Instrumente daher nur fur Impulszahlen von 15 bis 600 Perioden in der Sekunde hergestellt werden Um in jedem Falle gut ablesbare Schwingungsbilder zu erhalten, ist es erforderlich, bei Frequenzen unter 30 fur jede Viertelperiode, bei Frequenzen von 30 bis 80 fur jede halbe Periode und bei Frequenzen von 80 bis 140 fur jede ganze Periode eine Zunge zu verwenden Großere Intervalle sind nicht zulassig, da es sonst vorkommen konnte, daß bei dazwischenliegenden Frequenzen uberhaupt keine Zunge anspricht

Die **Spannungsmeßbereiche** sind entsprechend dem gedachten Verwendungszweck der Instrumente abgestuft Die tragbaren Betriebs-Frequenzmesser erhalten nur einen der jeweiligen Betriebsspannung entsprechenden Meßbereich, wahrend die Laboratoriums-Frequenzmesser zur Erzielung einer moglichst vielseitigen Verwendbarkeit funf Spannungsmeßbereiche in den Stufen 65, 100, 130, 180 und 250 Volt erhalten Die verschiedenen Meßbereiche konnen sowohl bei den Betriebs-Frequenzmessern als auch bei den Laboratoriums-Frequenzmessern durch eine mechanische Reguliervorrichtung, durch die die elektrische Empfindlichkeit des Systems geandert wird, um $\pm 20\%$ erweitert werden

Der **Eigenverbrauch** der Frequenzmesser betragt fur einen Spannungsmeßbereich von 100 Volt etwa 1 bis 2 Voltampere und andert sich bei den anderen Spannungsmeßbereichen proportional mit der Spannung

E. Präzisions-Meßwandler.

1. Allgemeines.

a) Anwendungsgebiet der Meßwandler.

Die Meßwandler sind in erster Linie für Hochspannungsmessungen bestimmt. Sie ermöglichen es, eine Hochspannungsmessung auf eine Niederspannungsmessung zurückzuführen, indem man alle Meßinstrumente auf der Sekundärseite dieser Meßwandler anschließt. Da die Sekundärspannung der Spannungswandler nur etwa 100 Volt beträgt, fallen hierbei alle persönlichen Gefahren für den Beobachter sowie alle bei direkten Hochspannungsmessungen auftretenden meßtechnischen Schwierigkeiten weg. Der Sekundärstrom der Stromwandler beträgt stets 5 Ampere. Man kann daher alle Messungen mit dieser niedrigen Stromstärke ausführen und kommt für alle Meßbereiche mit dem gleichen Satz von Meßinstrumenten aus. Die Meßgenauigkeit wird durch die Zwischenschaltung der Meßwandler praktisch nicht herabgedrückt, weil die durch die Meßwandler verursachten Fehler unter normalen Verhältnissen nicht größer als die bei den direkten Hochspannungsmessungen auftretenden Fehler sind. Überdies sind die Fehler der Meßwandler der Größe nach bekannt, so daß man sie bei besonders genauen Messungen verbessern kann. Diese Vorteile rechtfertigen an sich schon eine möglichst weitgehende Verwendung der Meßwandler bei allen Hochspannungsmessungen. Aber auch bei Niederspannungsmessungen ist die Verwendung von Stromwandlern sehr vorteilhaft, da man durch sie alle größeren Stromstärken in der Meßschaltung vermeiden kann, indem man die Stromwandler lediglich als Meßbereichwähler für die Wechselstrom-Meßinstrumente in ähnlicher Weise wie die Nebenschlußwiderstände bei Gleichstrom-Instrumenten benutzt.

b) Allgemeine Schaltregeln für Meßwandler.

Für alle Schaltungen mit Meßwandlern gelten folgende Grundregeln:

1. **Falls der Primärkreis Hochspannung führt, ist jede Berührung der Meßwandler zu vermeiden.**

Auch das Hantieren an den Sekundärklemmen des Meßwandlers ist wegen der Nähe der unter Hochspannung stehenden Teile lebens-

gefahrlich Sollen Meßwandler, die unter Spannung stehen, auf einen anderen Meßbereich umgeschaltet werden, so sind sie vorher allpolig vom Netz abzutrennen und zu erden

2 **Die Sekundarwickelung von Stromwandlern muß, sobald die Primarwickelung eingeschaltet ist, entweder durch die Meßinstrumente oder durch eine Kurzschlußverbindung geschlossen sein**

Bei Unterbrechung des Sekundarstromes entstehen einerseits lebensgefahrliche Spannungen an den Sekundarklemmen, andererseits aber kann durch die hierdurch auftretende ubermaßige Erhitzung des Transformatoreisens eine Beschadigung des Meßwandlers erfolgen

3 **Spannungswandler durfen, sobald sie unter Spannung gesetzt werden, im Gegensatz zu den Stromwandlern, sekundar nur uber einen hohen Widerstand geschlossen werden, sie konnen aber ebensogut offen bleiben.**

Die zulassige Belastung der einzelnen Typen der Prazisions-Meßwandler ist auf Seite 141 angegeben

4 **Die Spannungswandler sind auf der Hochspannungsseite allpolig zu sichern, auf der Niederspannungsseite sind alle nicht geerdeten Leitungen zu sichern**

Die Sicherungen auf der Hochspannungsseite dienen dazu, die Anlage gegen Beschadigungen durch Kurzschlusse in der Meßschaltung zu sichern Die Sicherungen auf der Niederspannungsseite dienen zum Schutze des Spannungswandlers gegen Überlastungen

5 **Werden in einer Meßschaltung Strom- und Spannungswandler verwendet, so sind die Sekundarwickelungen und die Gehause aller Meßwandler einpolig zu erden Der kleinste zulassige Querschnitt fur Erdleitungen aus Kupfer betragt 16 mm².**

Die Meßwandler dienen hierbei zur vollstandigen elektrischen Trennung der Hochspannung von den Niederspannungs-Meßinstrumenten Die Erdung der Niederspannungsseite ist bei richtiger Schaltung ohne weiteres zulassig, da Hoch- und Niederspannung nur magnetisch, nicht aber elektrisch miteinander verbunden sind Durch sie soll verhindert werden, daß Teile der Meßschaltung, die im normalen Zustande nur Niederspannung fuhren, durch einen Zufall gefahrliche Spannungen annehmen Hierdurch werden also die Gefahren der Hochspannungsmessung fur den Beobachter vermieden, ferner fallen die Beeinflussungen der Meßinstrumente weg, die durch Potentialdifferenzen zwischen den

Strom- und Spannungsspulen entstehen können. Die Erdleitung ist daher im wesentlichen nur eine Potential-Ausgleichleitung, und es würde anscheinend genügen, sie nur so kräftig zu bemessen, daß sie den auftretenden mechanischen Beanspruchungen standhält. Damit die Erdleitung aber auch bei elektrischen Störungen, z. B. Durchschlagen der Isolation der Meßwandler, ihren Zweck erfüllt, muß sie elektrisch so stark bemessen sein, daß sie bei den unter Umständen auftretenden hohen Kurzschluß-Stromstärken nicht abschmilzt, sondern den Kurzschlußstrom so lange tragen kann, bis die nächstliegenden Starkstromsicherungen abschmelzen. Daher ist bei Meßwandlern für die Erdleitung ein Kupferquerschnitt von mindestens 16 mm² vorgeschrieben. Die Erdleitung ist stets unmittelbar an den Meßwandler anzuschließen, und zwar sind sowohl ein Pol der Sekundarwickelung als auch das Gehäuse des Meßwandlers zu erden. Die Erdleitungen sind in den nachstehenden Schaltungen stets durch strichpunktierte Linien dargestellt, die Erdung der Gehäuse der Meßwandler ist der Einfachheit halber in den Schaltbildern nicht angedeutet. Die Erdleitungen dürfen nicht als stromführende Meßleitungen verwendet werden, sie ersetzen aber die zwischen den Strom- und Spannungswickelungen der Leistungsmesser erforderlichen Potentialverbindungen. Schließt man außer den in den Schaltbildern dargestellten Apparaten noch andere mit an, so ist zu beachten, daß bei verschiedenen Apparaten, z. B. bei Zählern, schon einpolige Verbindungen zwischen Strom- und Spannungskreis vorhanden sind. Die Erdung ist dann, um Kurzschlüsse der Meßwandler zu vermeiden, stets genau nach dem entsprechenden Sonderschaltbild auszuführen.

6. **Werden Stromwandler als Meßbereichwähler für Leistungsmesser in Verbindung mit Vorschaltwiderständen für den Spannungskreis benutzt, so darf man nicht erden; die Sekundarwickelung des Stromwandlers muß vielmehr mit einem geeigneten Punkte des Netzes derart verbunden werden, daß die innerhalb des Meßinstruments auftretenden Potentialdifferenzen möglichst klein werden.**

Bei den Leistungsmessern für Einphasenstrom verbindet man die Sekundarwickelung des Stromwandlers einpolig mit der zugehörigen Primarwickelung, bei den Drehstrom-Leistungsmessern mit zwei und drei Meßsystemen verbindet man die Sekundarwickelungen aller Stromwandler einpolig mit der gemeinsamen Spannungsklemme der Meßsysteme des Leistungsmessers bzw. mit dem Netzleiter, in den kein Stromwandler eingeschaltet ist. Durch diese Verbindung werden Potentialdifferenzen zwischen den Strom- und Spannungsspulen des

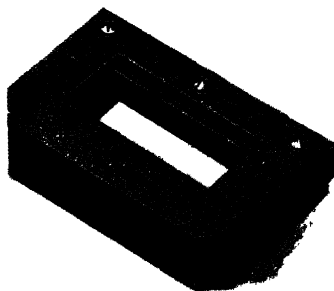
Leistungsmessers vermieden Die Meßinstrumente erhalten hierbei das Potential der Primarleitung, es sind daher die gleichen Vorsichtsmaßregeln zu beachten wie bei der direkten Messung Diese Schaltungen sind fur mittlere Spannungen bis etwa 600 Volt mit Vorteil zu verwenden Man spart hierdurch fur die kleineren Spannungen die Spannungswandler und bekommt eine leicht tragbare Meßeinrichtung

Benutzt man die tragbaren Leistungsmesser in Verbindung mit Schalttafel-Instrumenten oder Zahlern, die in einer festen Schaltung liegen, so darf die einpolige Verbindung zwischen der Sekundarwickelung und der Primarwickelung der Stromwandler **nicht** ohne weiteres ausgefuhrt werden, da die Sekundarwickelungen der Stromwandler in Schaltanlagen stets geerdet sind In diesem Falle laßt man entweder die Erdung der Stromwandler bestehen und laßt die Potential-Ausgleichsleitungen zwischen den Primar- und Sekundarwickelungen der Stromwandler weg, oder aber man beseitigt die betriebsmaßige Erdung des Stromwandlers wahrend der Messung und fuhrt die Potential-Ausgleichsleitungen aus Im ersten Falle muß man die etwaigen kleinen Meßfehler, die in den Prazisions-Instrumenten durch elektrische Ladungserscheinungen verursacht werden konnen, in Kauf nehmen, im zweiten Falle werden diese Fehler vermieden, so daß die hochste erreichbare Meßgenauigkeit erzielt wird

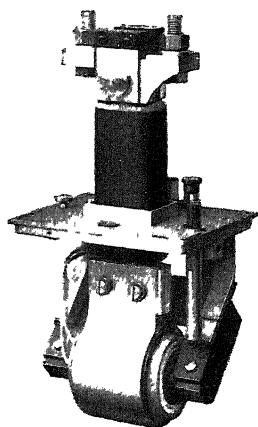
---

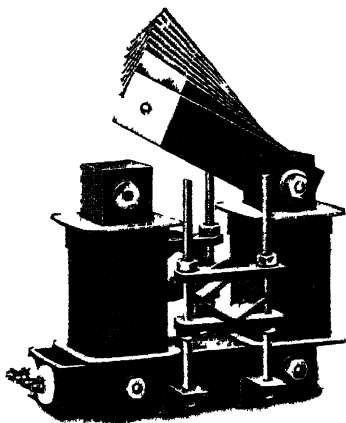
2. Präzisions-Stromwandler.

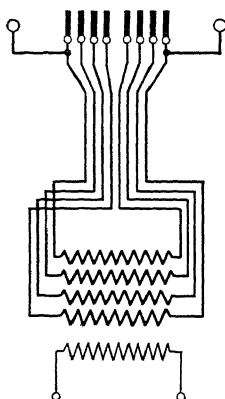
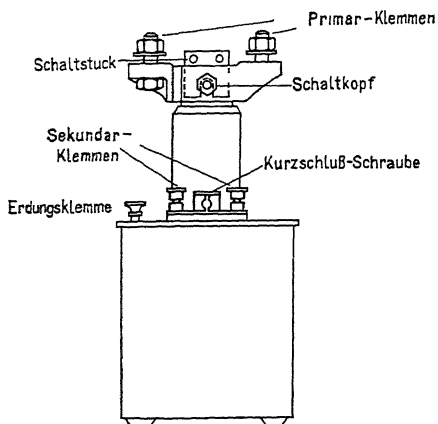
a) Mechanischer Aufbau

Zur Erzielung moglichst guter elektrischer Eigenschaften haben alle Prazisions-Stromwandler mit ausgefuhrter Primarwickelung einen vollstandig geschlossenen stoßfugenfreien Eisenkern erhalten Der hier-

Eisenkern der Stromwandler Type Mtr 7

durch gewonnene ideale Eisenschluß gewahrleistet die kleinstmoglichen Phasenfehler des Meßwandlers und ermoglicht eine außerordentlich gleichmaßige Herstellung, so daß die einzelnen Stromwandler vollkommen gleichartig ausfallen Die Wickelung wird auf diese geschlossenen Eisenkerne mit besonderen Spezialmaschinen aufgebracht Die Sekundarwickelung fur 5 Ampere liegt innen, wahrend die fur großere Stromstarken bestimmte, oft mehrfach unterteilte Primarwickelung daruber liegt Zur Durchfuhrung der Starkstromanschlusse durch den Gehausedeckel dient bei der gebrauchlichsten Type Mtr 7 ein unzerbrechlicher Papierisolator, an den sich oben der fur die Umschaltung der Meßbereiche erforderliche Schaltkopf anschließt Die Anschlußklemmen selbst sind kraftige Bolzen mit Sechskantmuttern Die Sekundaranschlusse sind seitlich auf dem Gehausedeckel angebracht und konnen durch einen Kurzschlußstopsel kurz verbunden werden

Außere Ansicht der Prazisions=Stromwandler
Type Mtr 7

Innerer Aufbau der obigen Stromwandler

Der innere Aufbau der Stromwandler Mtr 7 ist aus der vorstehenden Abbildung, die den Stromwandler ohne Gehause darstellt, ersichtlich Der Eisenkern ist an einer Stutze des Deckels befestigt und zwecks Raumersparnis schrag angeordnet Die Primarwickelung ist bei der abgebildeten Type als Blechwickelung ausgefuhrt Die Sekundarwickelung ist als Drahtwickelung ausgefuhrt und liegt unter der Primarwickelung Zur Erhohung der Isolierfestigkeit wird der ganze Transformator in ein viereckiges Gehause eingesetzt und mit Isoliermasse ausgegossen (vgl Abbildung auf Seite 124)

Prazisions-Stromwandler, Type Mtr 11 ap

Das Prinzip des vollstandig geschlossenen Eisenkerns wird nur durch eine Sondertype Mtr 11 ap fur besonders hohe Stromstarken durchbrochen Dieser Stromwandler erhalt keine eigene Primarwickelung, sondern wird um eine in der Anlage vorhandene Stromschiene herumgebaut Um dies in einfacher Weise zu ermoglichen, ist die obere Seite des Eisenkernes zum Herausklappen eingerichtet (vergleiche obenstehende Abbildung) Die Stromschiene wird dann im Innern des Stromwandlers durch die in der Abbildung ebenfalls sichtbaren Halteklammern festgehalten Nach Einbau der Stromschiene wird der Eisenkern durch Herunterklappen geschlossen und fest zusammengeschraubt Um den storenden Einfluß der Stoßfugen nach Moglichkeit zu beseitigen, sind die Stoßstellen vielfach uberplattet

Innere Schaltung und Klemmenanordnung der Prazisions-Stromwandler Mtr 7

b) Innere Schaltung der Stromwandler mit mehreren Meßbereichen.

Die verschiedenen Meßbereiche der Stromwandler werden durch Umschaltung auf der Primärseite erzielt. Zu diesem Zwecke ist die Primärwickelung in mehrere elektrisch gleichwertige Gruppen zerlegt, die beim kleinsten Strommeßbereich in Reihe, bei einem mittleren Meßbereich in Gruppenschaltung und beim größten Meßbereich in Parallelschaltung liegen.

Um die Umschaltung der einzelnen Wickelungsteile in einfacher Weise zu ermöglichen, sind ihre Enden nach einem zwischen den Anschlußklemmen befindlichen Schaltkopf geführt, wie es in der vorstehenden Skizze angedeutet ist. Zur Herstellung der gewünschten Schaltung wird in diesen Schaltkopf ein Schaltstück eingeführt, das alle erforderlichen Verbindungen gleichzeitig herstellt. Der gute Kontakt zwischen den einzelnen Lamellen des Schaltkopfes und Schaltstückes wird durch eine seitlich angeordnete Druckschraube sichergestellt.

Da die einzelnen Wickelungsteile elektrisch vollkommen gleichwertig sind und in allen Schaltungen in gleicher Weise beansprucht werden, sind die verschiedenen Meßbereiche der Stromwandler auch elektrisch vollkommen gleichwertig.

c) Isolation.

Die Isolation der Typen Mtr 7 und Mtr 16 p ist als Masse-Isolation ausgeführt und reicht bei der Type Mtr 7 bis 12000 und bei der Type Mtr 16 p bis 30000 Volt Betriebsspannung aus. Die Type Mtr 11 ap besitzt keine besondere Primärwickelung und wird direkt um vorhandene Stromschienen herumgebaut. Hierbei ist für geeignete Isolation des jeweilig benutzten Primärleiters Sorge zu tragen.

Die **Isolationsprüfung** der Primärwickelung gegen Sekundärwickelung und Gehäuse erfolgt mit der doppelten Spannung während der Dauer von 5 Minuten. Die Prüfspannung beträgt also 24000 Volt bei der Type Mtr 7 und 60000 Volt bei der Type Mtr 16. Die Sekundärwickelung wird bei sämtlichen Typen gegen Gehäuse eine Minute lang mit 2000 Volt geprüft, so daß betriebsmäßig Potentialdifferenzen von **1000 Volt** zwischen Sekundärwickelung und Gehäuse zulässig sind.

d) Meßbereiche der Prazisions-Stromwandler.

Bei Benutzung eines Stromwandlers sind die Angaben der Meßinstrumente mit der Übersetzung des Stromwandlers zu multiplizieren Betragt der Primar-Meßbereich I Ampere und der Sekundar-Meßbereich 5 Ampere, so wird

$$\frac{I}{5} = \text{Ubersetzung des Stromwandlers}$$

Die Meßbereiche der verschiedenen Typen sind nachstehend zusammengestellt

Type	Hochste zulassige Betriebsspannung Volt	Meßbereiche primar Ampere	Meßbereiche sekundar Ampere	Übersetzung
Mtr 7d	12 000	5	5	1
		10	5	2
		25	5	5
		50	5	10
		100	5	20
		250	5	50
Mtr 7e	12 000	500	5	100
Mtr 7f		750	5	150
Mtr 7g		1500	5	300
Mtr 7	12 000	5, 10, 20	5	1, 2, 4
Mtr 7k		10, 20, 40	5	2, 4, 8
Mtr 7a		25, 50, 100	5	5, 10, 20
Mtr 7l		50, 100, 200	5	10, 20, 40
Mtr 7h		100, 200, 400	5	20, 40, 80
Mtr 7b		250, 500	5	50, 100
Mtr 7c		600, 1200	5	120, 240
Mtr 16p	30 000	5, 10, 20	5	1, 2, 4
Mtr 16kp		10, 20, 40	5	2, 4, 8
Mtr 16ap		25, 50, 100	5	5, 10, 20
Mtr 16lp		50, 100, 200	5	10, 20, 40
Mtr 11ap	je nach Isolation des verwendeten Primarleiters	2000	5	400
		2500	5	500
		3000	5	600

e) Zulassige Belastung.

Die zulassige sekundare Belastung der Stromwandler betragt fur 50 Perioden bei vollem Strom 20 Voltampere, also 4 Volt Klemmenspannung bei 5 Ampere Bei anderen Frequenzen andert sie sich nahezu proportional der Frequenz Entsprechend dieser verhaltnismaßig hohen zulassigen Sekundarbelastung ist es gestattet, sekundar gleichzeitig Leistungsmesser und Strommesser in Reihe zu schalten Um beim Anschluß weiterer Instrumente oder Zahler die zulassige Klemmenspannung von etwa 4 Volt nicht zu uberschreiten, empfiehlt es sich, die jeweilig nicht benotigten Instrumente abwechselnd kurzzuschließen Die folgende Tabelle gibt Aufschluß uber den Eigenverbrauch der Stromspulen der vorher beschriebenen Meßinstrumente sowie einiger Siemens-Schuckertzahler bei 5 Ampere

Instrumente fur 5 Ampere	Klemmenspannung bei Frequenz		Leistungsfaktor bei Frequenz	
	50	25	50	25
Praz.-Strommesser, Pruffeldtype	1,3	1,3	1	1
Praz.-Leistungsmesser, Pruffeldtype	0,26	0,24	0,92	0,98
Praz.-Strommesser, Laboratoriumstype	2,4	2,4	1	1
Praz.-Leistungsmesser, Laboratoriumstype	1,2	1,08	0,87	0,96
Betriebs-Strommesser mit Dreheisen-System	0,29	0,25	—	—
Betriebs-Leistungsmesser mit Eisenschluß-System	0,6	0,5	—	—
Zahler W 2, W 2 dn	1,5	1,5	0,3	0,55
Zahler W 10, W 10 dn, D 6	0,6	0,6	0,35	0,6
Zahler D 5 .	0,3	0,3	0,35	0,6

f) Eigenverbrauch der Stromwandler.

Der Eigenverbrauch der Prazisions-Stromwandler ist außerordentlich gering Er betragt bei den Typen Mtr 7 und Mtr 16p etwa **25 Watt** bei Vollast Dieser Eigenverbrauch besteht in der Hauptsache aus den Kupferverlusten, die durch Stromwarme in der Primar- und Sekundarwickelung des Stromwandlers hervorgerufen werden Die Eisenverluste sind infolge der geringen Sattigung des Eisens zu vernachlassigen Der Eigenverbrauch der Stromwandler andert sich daher mit dem **Quadrate der Stromstarke.**

g) Meßfehler der Stromwandler.

Die **Ubersetzung** der Präzisions-Stromwandler ist bei 5 Ampere und einer Klemmenspannung von etwa 4 Volt auf mindestens 0,5% genau abgeglichen und bleibt von 100% bis herab auf 10% der Strombelastung konstant

Die **Phasenverschiebung** zwischen dem Primarstrom und dem um 180° herumgeklappten Vektor des Sekundarstromes betragt bei 50 Perioden fur Vollast nur etwa 15 Minuten und bei 20% der Strombelastung nicht mehr als etwa 36 Minuten

Der durch diese innere Phasenverschiebung des Stromwandlers bei Leistungsmessungen verursachte **Meßfehler** laßt sich in folgender Weise berechnen

Bedeutet

δ = Phasenverschiebungswinkel zwischen dem Primarstrom und dem herumgeklappten Vektor des Sekundarstromes,

φ = Phasenverschiebungswinkel zwischen dem zu messenden Strom und der Netzspannung (also $\cos\varphi$ = Netz-Leistungsfaktor),

I = Effektivwert des Stromes,

E = Effektivwert der Netzspannung,

so ist die zu messende tatsachliche Leistung

$$P = E \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Bei Verwendung eines Stromwandlers mit Übersetzung 1 : 1 wird dagegen eine Leistung gemessen

$$P = E \cdot I \cdot \cos(\varphi \pm \delta)$$

Der durch den Stromwandler verursachte Fehler ist demnach

$$F = E \cdot I \cdot \cos(\varphi \pm \delta) - E \cdot I \cdot \cos\varphi$$
$$= E \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot (\cos\delta \mp \operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\delta - 1)$$

Da δ sehr klein ist, wird $\cos\delta = 1$ und $\sin\delta = \delta$

Dann wird

$$F = E \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot (\delta \cdot \operatorname{tg}\varphi)$$

Setzt man δ anstatt im Bogenmaß als Winkel ein, so ist fur das Bogenmaß der Wert $\frac{2\pi\delta}{360} = \frac{\pi\delta}{180}$ einzufuhren Wird schließlich δ

noch anstatt in Grad in Minuten eingesetzt, was bei den praktisch vorkommenden kleinen Winkeln angebracht ist, so ist der Wert $\frac{\pi\delta}{180 \; 60} = \frac{\pi\delta}{10\,800}$ in die obige Gleichung einzufuhren, also

$$F = E \;\; I \;\; \cos\varphi \left(\frac{\pi\delta}{10\,800} \;\; \mathrm{tg}\,\varphi \right)$$

Der prozentuale Fehler wird daher

$$p = \frac{\pi\delta}{108} \;\; \mathrm{tg}\,\varphi = \delta \;\; \frac{\pi\,\mathrm{tg}\,\varphi}{108}$$

In diese Formel ist also der Phasenfehler δ des Stromwandlers direkt in Minuten einzusetzen Der auf diese Weise berechnete prozentische Fehler ist bei induktiver Netzbelastung von der gemessenen Leistung zu subtrahieren, bei kapazitiver Netzlast dagegen zu addieren Die Formel zeigt, daß sich der durch einen Stromwandler verursachte Meßfehler mit dem Wert von $\mathrm{tg}\,\varphi$ andert, d h der Fehler ist um so großer, je großer die Phasenverschiebung des untersuchten Wechselstromsystems ist

Beispiel

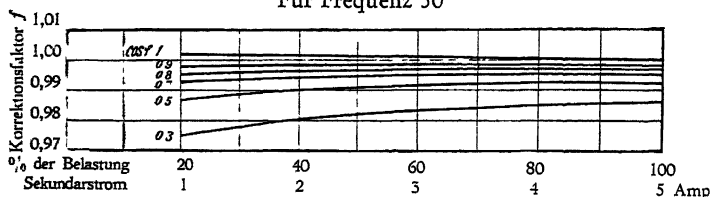
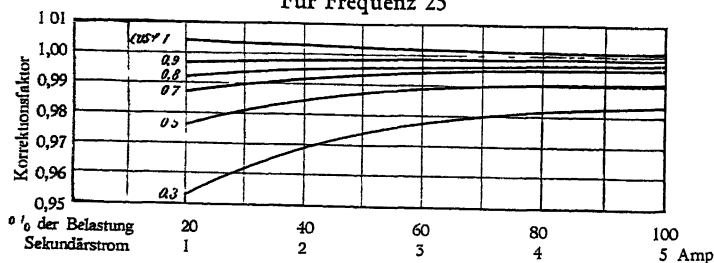
Der Leistungsfaktor eines untersuchten Stromkreises sei $\cos\varphi = 0{,}5$, die Strombelastung des Stromwandlers sei hierbei 20% des Normalstromes Hat der Stromwandler bei dieser Belastung einen Phasenfehler von $\delta = 30$ Minuten, so ergibt sich bei einer Leistungsmessung ein Fehler

$$p = \delta \;\; \frac{\pi\,\mathrm{tg}\,\varphi}{108} = \frac{30 \;\; 3{,}14 \;\; 1{,}732}{108} = 1{,}5\,\% \text{ des Sollwertes}$$

Da ein normaler Leistungsmesser unter den vorliegenden besonders ungunstig gewahlten Verhaltnissen nur den zehnten Teil des Endausschlages geben wurde, ist die Genauigkeit der Messung an sich nur gering, so daß diese durch den Stromwandler nicht wesentlich verkleinert wird

h) Korrektion der Fehler.

Bei den meisten praktisch vorkommenden Messungen kann man die durch den Stromwandler verursachten Meßfehler vernachlassigen, da sie innerhalb der Ablesefehler der Meßinstrumente liegen Nur bei besonders großen Phasenverschiebungen ist eine gewisse Vorsicht geboten, da hierbei die Meßfehler nach der vorstehend entwickelten

Formel eine erhebliche Größe bekommen können In diesen Fällen und bei besonders genauen Messungen ist daher eine Korrektion der Fehler unter Umständen wünschenswert Um die Korrektion in möglichst einfacher Weise ausführen zu können, werden den Präzisions-Stromwandlern **Korrektionskurven** beigegeben, die gleich den Gesamtfehler des Stromwandlers, also Phasenfehler + Übersetzungsfehler berücksichtigen Die Gesamtfehler sind in diesen Kurven in Form eines Korrektionsfaktors angegeben und als Funktion der verschiedenen Strombelastungen des Stromwandlers aufgetragen Da die Größe der von dem Stromwandler bei der Messung verursachten Phasenfehler von dem Phasenverschiebungswinkel (**tg** φ) des untersuchten Netzes abhängt, ergibt sich für jeden Netzleistungsfaktor **cos** φ eine besondere Kurve, die ihrerseits wieder nur für eine bestimmte Frequenz und eine bestimmte sekundäre Belastung des Stromwandlers gilt Als Normalbelastung des Stromwandlers wurde hierbei entsprechend einer vollständigen Meßschaltung ein Leistungsmesser und ein Strommesser der Prüffeldtype angenommen Man erhält auf diese Weise für jede Stromwandlertype eine Kurvenschar ähnlich der nachstehenden Abbildung

Zur Bestimmung der tatsächlichen Leistung stellt man zunächst die Strombelastung des Stromwandlers aus der Ablesung des Strommessers

fest und berechnet aus den gemessenen Werten der Leistung, des Stromes und der Spannung den Netzleistungsfaktor **cos** φ Dann entnimmt man der diesem Leistungsfaktor entsprechenden Kurve den Korrektionsfaktor f fur die vorliegende Strombelastung Mit diesem Korrektionsfaktor f ist dann die gemessene Leistung zu multiplizieren, um die tatsachliche Leistung zu erhalten, also

Gemessene Leistung $\times f =$ Tatsachliche Leistung

Fur die Korrektion der Angaben des Strommessers kann die Korrektionskurve fur **cos** $\varphi = 1$ benutzt werden, da diese im wesentlichen nur den Ubersetzungsfehler enthalt, also

Gemessener Strom $\times f =$ Tatsachlicher Strom.

Von der **Kurvenform** sind die Angaben der Stromwandler praktisch unabhangig, solange die untersuchten Strome keine Gleichstromkomponente enthalten Ebensowenig findet eine Verzerrung der Kurvenform statt, so daß die Kurvenformen des Primarstromes und des Sekundarstromes vollkommen ubereinstimmen

i) Klemmenbezeichnungen.

Die Klemmenbezeichnung der Prazisions-Stromwandler ist nach den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ausgefuhrt Demgemaß sind die Primarklemmen mit L_1 und L_2, die Sekundarklemmen mit l_1 und l_2 bezeichnet Durch diese Bezeichnung ist gleichzeitig der gegenseitige Richtungssinn des Primarstromes und Sekundarstromes in der Weise festgelegt, daß ein primarer Momentanstrom in der Richtung L_1 L_2 einen sekundaren Momentanstrom in der gleichen Richtung l_1 l_2 erzeugt Es ist demgemaß im Stromwandler eine Vertauschung der sekundaren Wickelungsenden vorgenommen, da sonst der Sekundarstrom in entgegengesetzter Richtung fließen mußte Durch diese Vertauschung ergibt sich fur alle Schaltbilder die wesentliche Vereinfachung, daß die fur die Leistungsmesser geltenden Stromrichtungsregeln durch das Zwischenschalten eines Stromwandlers nicht geandert werden Die im zweiten Teile des Buches angegebenen Schaltbilder sind durchweg so ausgefuhrt, daß die vom Stromerzeuger kommenden Leitungen stets in die Klemme L_1 fuhren und die entsprechende Sekundarklemme l_1 geerdet wird Demgemaß ist bei den neueren Ausfuhrungen der Stromwandler auch die Erdungsklemme des Gehauses direkt neben der linken Sekundarklemme l_1 angebracht und durch eine losbare Lasche mit dieser verbunden

k) Besondere Betriebsvorschriften.

Bei Benutzung von Prazisions-Stromwandlern mit mehreren Meßbereichen ist darauf zu achten, daß vor Anschluß der Starkstromleitungen das gewahlte Schaltstuck in den Schaltkopf gesteckt und die seitliche Mutter zwecks besseren Kontaktes und Versteifung des lamellierten Schaltkopfes fest angezogen wird Dann erst sind die Starkstrom- bzw Hochspannungsleitungen an die Starkstromklemmen des Schaltkopfes zu legen Die Anschlußschrauben mussen dabei zur Vermeidung einer schadlichen Erwarmung des Schaltkopfes mit besonderer Sorgfalt fest angezogen werden Die Zuleitungen zu den Meßinstrumenten sind an die Sekundar-Klemmen anzuschließen (vgl Seite 126)

Vor dem Einschalten der Primarwickelung muß die Sekundarwickelung des Stromwandlers stets geschlossen sein (vgl Schaltregel 2 auf Seite 120), d h es mussen entweder die Meßinstrumente eingeschaltet oder es muß eine Kurzschlußverbindung zwischen den Sekundarklemmen hergestellt sein Dies kann bei Niederspannung durch Einfuhren der Kurzschlußschraube in die zwischen den Sekundarklemmen befindlichen Kontaktstucke geschehen, bei Hochspannung wird man diese Verbindung zweckmaßig durch einen in entsprechender Entfernung vom Stromwandler liegenden Instrument-Abschalter mit selbsttatiger Kurzschlußverbindung ausfuhren (vgl Seite 155) Das Offenlassen der Sekundarwickelung eines Stromwandlers ist unter allen Umstanden zu vermeiden, da hierbei das Transformatoreisen ubermaßig erhitzt und magnetisch ungunstig beeinflußt werden wurde Auch wurde die dabei an den Sekundarklemmen auftretende hohe Spannung fur den Beobachter gefahrlich sein

Das Umschalten des Stromwandlers auf einen anderen Meßbereich darf niemals unter Strom erfolgen, da hierdurch der Primarstrom unterbrochen wurde Der Stromwandler muß vielmehr vor der Umschaltung stets strom- und spannungslos gemacht werden Dies geschieht zweckmaßig ebenfalls durch einen Stromabschalter mit selbsttatiger Kurzschluß-Vorrichtung, der in diesem Falle naturlich fur die Primarspannung bemessen sein muß (vgl Seite 155)

---

3. Präzisions-Spannungswandler.

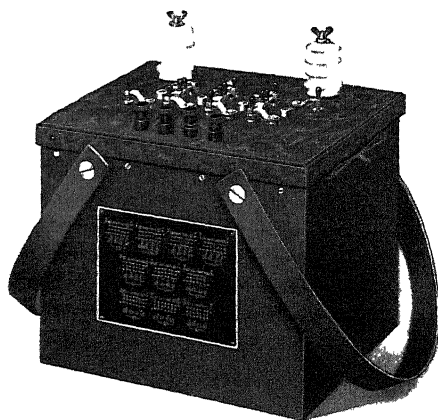
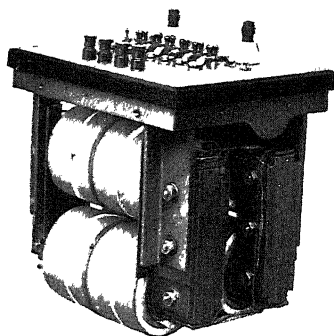
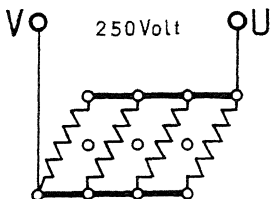
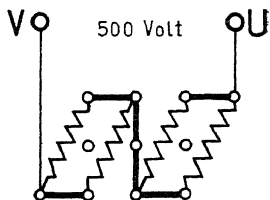
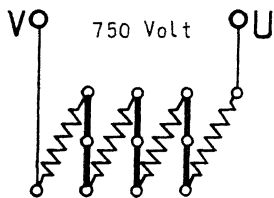
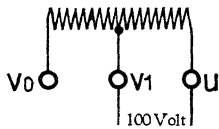
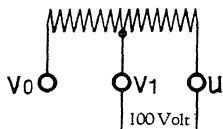
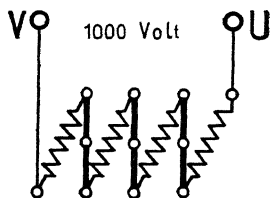
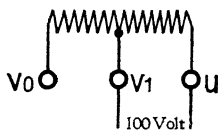
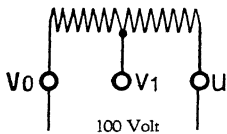
a) Mechanischer Aufbau.

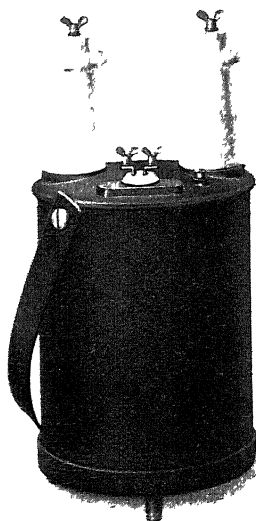
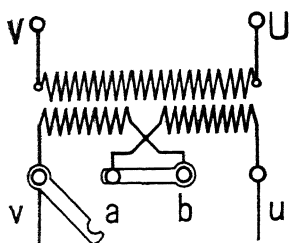
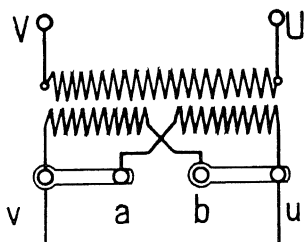
Auch bei den Prazisions-Spannungswandlern sind die Eisenkerne zur Erzielung moglichst guter elektrischer Eigenschaften vollkommen stoßfugenfrei ausgefuhrt Die Sekundarwickelung fur 100 Volt liegt innen, wahrend die fur Hochspannung bestimmte, oft mehrfach unterteilte Primarwickelung daruber liegt Die Spannungswandler fur ein und zwei Meßbereiche sind in runde Gehause, ahnlich denen der Schalttafel-Spannungswandler, eingebaut, wahrend die fur eine großere Anzahl Meßbereiche bestimmten umschaltbaren Spannungswandler viereckige Gehause mit Marmordeckplatte erhalten

b) Innere Schaltung der Spannungswandler mit mehreren Meßbereichen.

Bei den **Typen Mtr 222p und 222ap** erfolgt die Umschaltung auf einen zweiten Meßbereich meistens nur auf der **Sekundarseite** Die Sekundarwickelung ist hierbei in zwei elektrisch gleichwertige Spulengruppen zerlegt, die entweder parallel oder in Reihe geschaltet werden Man erhalt auf diese Weise zwei Spannungsmeßbereiche, die sich wie 2 1 verhalten (vgl das Schaltbild auf Seite 138)

Bei den **Typen Mtr 40** erfolgt die Umschaltung im wesentlichen auf der **Primarseite** Die Primarwickelung ist daher in mehrere elektrisch gleichwertige Wickelungsgruppen zerlegt, die bei der Umschaltung in Reihen-, Gruppen- oder Parallelschaltung verbunden werden (vgl Seite 137) Die hierzu erforderlichen Umschaltungen werden durch kleine Schalthebel ausgefuhrt, die auf der Marmorplatte des Spannungswandlers angeordnet sind Die Umschaltvorrichtung ist derartig gebaut, daß auch bei unrichtiger Stellung der Kontakthebel ein Kurzschluß einzelner Spulengruppen nicht vorkommen kann Zur feineren Unterteilung der Meßbereiche sind meistens noch Abzweigungen der Sekundarwickelung vorgesehen

Die Umschaltung der Meßbereiche darf, auch bei sekundarer Umschaltung, keinesfalls unter Spannung erfolgen, da jedes Hantieren am Spannungswandler wegen der Nahe der unter Hochspannung stehenden Teile lebensgefahrlich ist

Äußere Ansicht eines Präzisions=Spannungswandlers, Type Mtr 40, mit mehreren Meßbereichen

Innerer Aufbau des obigen Spannungswandlers

Innenschaltung eines Prazisions-Spannungswandlers Type Mtr 40 c.

Die Umschaltung erfolgt hierbei im wesentlichen auf der Primarseite

Äußere Ansicht eines Präzisions-Spannungswandlers, Type Mtr 222p, mit einem Meßbereich

Niederer Meßbereich

Hoher Meßbereich

Innenschaltung des obigen Spannungswandlers, jedoch mit zwei durch sekundäre Umschaltung erreichten Meßbereichen

c) Meßbereiche der Prazisions-Spannungswandler.

Type	Frequenz	Meßbereiche primar Volt	sekundar Volt	Über-setzung
Mtr 221p	40—60	500	100	5
		1000	100	10
		2000	100	20
		3000	100	30
		4000	100	40
Mtr 222p	25—39	500	100	5
		1000	100	10
		2000	100	20
		3000	100	30
		4000	100	40
		5000	100	50
	40—60	5000	100	50
		6000	100	60
		7500	100	75
		10000	100	100
Mtr 222ap	25—39	6000	100	60
		7500	100	75
	40—60	12000	100	120
		15000	100	150
Mtr 40c	25—60	250, 500, 750, 1000	100	2,5, 5, 7,5, 10
Mtr 40a	25—60	1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000	100	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60
Mtr 40	25—60	1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000, 12000	100	10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120

Die Meßbereiche konnen dauernd um 10 %, kurzzeitig um 20 % uberlastet werden

Die großeren Spannungswandlertypen Mtr 222 p und Mtr 222 ap konnen noch einen zweiten Meßbereich erhalten, der gleich der Halfte des normalen Meßbereiches ist (vgl Seite 138) Die Typen Mtr 40 haben eine großere Anzahl von Meßbereichen erhalten, um in jedem Falle einen moglichst nahe an der Betriebsspannung liegenden Meßbereich und damit einen moglichst großen Zeigerausschlag der angeschlossenen Meßinstrumente zu bekommen

Bei Benutzung eines Spannungswandlers sind die Angaben der Meßinstrumente mit der Ubersetzung des Spannungswandlers zu multiplizieren Betragt der Primar-Meßbereich E Volt und der Sekundar-Meßbereich 100 Volt, so wird $\frac{E}{100}$ = Ubersetzung des Spannungswandlers

Eine Korrektion der Übersetzung ist in den meisten Fallen nicht erforderlich (vgl Seite 142)

d) Isolation.

Die Isolation aller Prazisions-Spannungswandler fur Spannungen bis 15000 Volt ist als Masseisolation ausgefuhrt An Stelle der fruheren Rillenisolatoren werden jetzt entsprechend den neuen Vorschriften glatte Isolatoren benutzt (siehe Abbildung auf Seite 138)

Die Isolationsprufung zwischen Primar- und Sekundarwickelung sowie zwischen Primarwickelung und Gehause erfolgt mit der doppelten Betriebsspannung wahrend der Dauer von 5 Minuten Die Sekundarwickelung wird gegen Gehause 1 Minute lang mit 2000 Volt gepruft

e) Zulässige Belastung der Spannungswandler.

Die hochste zulassige Energieentnahme der Prazisions-Spannungswandler ist im Verhaltnis zum Eigenverbrauch der Meßinstrumente so groß, daß selbst bei gleichzeitigem Anschluß mehrerer Meßinstrumente ein kaum merkbarer Spannungsabfall entsteht In der Tabelle auf Seite 141 ist fur die verschiedenen Typen sowohl die hochste zulassige Energieentnahme als auch die Energieentnahme angegeben, bei der ein Spannungsabfall von 1% eintritt Da die Spannungsabfall-Kurve geradlinig verlauft, kann man sich aus der Tabelle fur jede vorkommende Energieentnahme den Spannungsabfall berechnen Der Eigenverbrauch der Spannungskreise der verschiedenen Meßinstrumente bei Anschluß an 100 Volt ist in der Tabelle auf Seite 142 angegeben

Type	Meßbereich	Zulässige Energieentnahme bei 1 % Spannungsabfall und cos φ = 1 in Voltampere		Maximal zulässige Energieentnahme in Voltampere		Spannungsabfall in % bei maximaler Energieentnahme cos φ = 1		Eigenverbrauch bei Leerlauf in Watt	
	Volt	Frequenz 50 ca	25 ca	Frequenz 50 ca	25 ca	Frequenz 50 ca	25 ca	Frequenz 50 ca	25 ca
Mtr 221 p	500 — 4000	40	—	200	—	5	—	8	4,5
Mtr 222 p	5000 — 10000 Sek auf den kleineren Meßbereich umgeschaltet	150 60	— —	300 150	— —	2 2,5	— —	20 8	— —
	500 — 5000 Sek auf den kleineren Meßbereich umgeschaltet	— —	45 15	— —	160 80	— —	3,5 5,3	— —	12 5
Mtr 222 ap	12000 — 15000 Sek auf den kleineren Meßbereich umgeschaltet	220 80	— —	500 250	— —	2,3 3,1	— —	25 10	— —
	6000 — 7500 Sek auf den kleineren Meßbereich umgeschaltet	— —	75 25	— —	300 150	— —	4 6	— —	14 6
Mtr 40 c	250, 500; 1000 750	50 40	50 40	300 250	300 250	6 6	6 6	6,3 4	9,5 6
Mtr 40 a	1000, 2000, 4000 1250; 2500, 5000 1500; 3000, 6000	30 35 50	30 35 50	130 170 200	130 170 200	4,3 5 4	4,3 5 4	4 5 6,5	6 7,5 9,5
Mtr 40	1000; 2000, 4000; 8000 . 1250; 2500, 5000, 10000 . . . 1500; 3000, 6000, 12000 .	55 80 100	55 80 100	270 330 400	270 330 400	5 4,1 4	5 4,1 4	7 9 12	9,5 14 18,5
Mtr 40 b	250; 500 1000; 2000; 4000 1250; 2500, 5000 1500, 3000, 6000	125 30 35 50	125 30 35 50	500 130 170 200	500 130 170 200	4 4,3 5 4	4 4,3 5 4	— 4 5 6,5	— 6 7,5 9,5

Instrumenttype	Eigenverbrauch in Voltampere		Leistungsfaktor	
	Frequenz		Frequenz	
	50	25	50	25
Präz.-Spannungsmesser, Prüffeldtype, mit Meßbereich 130 Volt .	4,6	4,6	1	1
Präz.-Leistungsmesser der Prüffeldtype mit Meßbereich 90 Volt	3,3	3,3	1	1
Präz.-Spannungsmesser, Laboratoriumstype, mit Meßbereich 150 Volt	4,6	4,6	1	1
Präz.-Leistungsmesser der Laboratoriumstype mit Meßbereich 120 Volt	2,5	2,5	1	1
Betriebs-Spannungsmesser mit Dreheisen-System, Meßbereich 130 Volt	6,3	6,3	1	1
Betriebs-Leistungsmesser mit Eisenschluß-System, Meßbereich 120 Volt	2,5	2,5	1	1
Zähler W 2	2,5	4,5	0,45	0,54
Zähler W 2 dn, W 10, D 5, D 6	2	4	0,67	0,60
Zungenfrequenzmesser	2	2	1	1

f) Eigenverbrauch der Spannungswandler

Der Eigenverbrauch der Präzisions-Spannungswandler besteht in der Hauptsache aus den Eisenverlusten (Leerlaufwatt). Er bleibt daher bei primär umschaltbaren Spannungswandlern für die verschiedenen Meßbereiche konstant. Die Größe des Eigenverbrauches ergibt sich für die verschiedenen Typen aus der Tabelle auf Seite 141. Der Eigenverbrauch ist so gering, daß er in den meisten Fällen vernachlässigt werden kann.

g) Meßfehler der Spannungswandler.

Das **Übersetzungsverhältnis** wird bei einer sekundären Belastung von 10 Voltampere bei $\cos \varphi = 1$ auf mindestens 0,5 % genau abgeglichen. Es bleibt von 100 % bis 20 % des Meßbereiches praktisch konstant. Vorausgesetzt ist hierbei, daß nicht etwa die Meßinstrumente bei halber Spannung auf einen kleineren, halb so großen Meßbereich umgeschaltet

werden Hierdurch wurde der Spannungswandler zweimal so stark belastet werden, so daß die durch Vergroßerung des Zeigerausschlages erhohte Ablesegenauigkeit durch den großeren Spannungsabfall des Spannungswandlers aufgehoben wird

Die **Phasenverschiebungsfehler** konnen praktisch vernachlassigt werden, sie betragen im allgemeinen weniger als 10 Minuten

Eine Abhangigkeit von der **Kurvenform** ist bei Wechselspannungen, die keine Gleichstromkomponente enthalten, praktisch nicht vorhanden Ebensowenig findet eine Verzerrung der Kurvenform statt, so daß die Kurvenformen des Primarstromes und des Sekundarstromes vollkommen ubereinstimmen

Innerhalb der auf den Spannungswandlern angegebenen Grenzen sind die Angaben von der Frequenz unabhangig

h) Klemmenbezeichnungen

Die Klemmenbezeichnung der Prazisions-Spannungswandler ist nach den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ausgefuhrt Demgemaß sind die Primarklemmen mit ***V*** und ***U***, die Sekundarklemmen mit ***v*** und ***u*** bezeichnet Durch diese Bezeichnungen ist gleichzeitig der gegenseitige Richtungssinn der Primarspannung und der Sekundarspannung in der Weise festgelegt, daß eine primare Momentanspannung in der Richtung ***VU*** eine sekundare Momentanspannung in der gleichen Richtung ***v u*** erzeugt Es ist demgemaß im Spannungswandler eine Vertauschung der sekundaren Wickelungsenden vorgenommen, da sonst die Spannungen in entgegengesetztem Sinne wirken mußten Durch diese Vertauschung ergibt sich fur alle Schaltbilder die wesentliche Vereinfachung, daß die fur Leistungsmesser geltenden Stromrichtungsregeln durch das Zwischenschalten eines Spannungswandlers nicht geandert werden Um eine moglichst ubersichtliche Schaltung zu erzielen, sind bei den Prazisions-Spannungswandlern die Klemmen ***V*** und ***v*** links und die Klemmen ***U*** und ***u*** rechts angeordnet worden, so daß die zu erdende Sekundarklemme ***v*** des Prazisions Spannungswandlers ebenso wie die entsprechende Sekundarklemme l_1 des Prazisions-Stromwandlers auf der linken Seite liegt Werden bei Drehstrom-Messungen zwei Einphasen-Spannungswandler in *V*-Schaltung benutzt, so werden sie auf der Hochspannungsseite so angeschlossen, daß die beiden Klemmen ***V*** miteinander verbunden und uber eine Sicherung an die gemeinsame Spannungsphase angelegt werden Die entsprechenden Sekundarklemmen ***v*** sind hierbei durch die gemeinsame Erdungsleitung miteinander zu verbinden

1) Besondere Betriebsvorschriften

Es wird nachdrucklich empfohlen, die Spannungswandler entsprechend der Schaltregel 4 auf Seite 120 sowohl auf der Hochspannungsseite als auch auf der Niederspannungsseite zu sichern

Die **Hochspannungs-Sicherungen auf der Primarseite** dienen dazu, die Anlage gegen Beschadigungen durch etwa auftretende Kurzschlusse zu sichern Um dies zu erreichen, muß die Sicherung auf der Primarseite fur Wechselstrom zweipolig, fur Drehstrom (ohne Unterschied der Schaltung) dreipolig ausgefuhrt werden Die hierzu verwendeten Hochspannungs-Sicherungen fur 2 Ampere Nennstrom schmelzen im allgemeinen bei einer Stromstarke von 4 Ampere ab Aus dieser Abschmelzstromstarke ergibt sich, daß der Spannungswandler selbst durch diese Sicherungen vor Beschadigungen durch Uberlastung nicht unbedingt geschutzt werden kann Die Wahl schwacherer Sicherungen ist aber nicht empfehlenswert, da diese infolge des Einschalte-Stromstoßes beim Einschalten zu leicht durchschmelzen wurden Die normalen 2-Ampere-Sicherungen werden indessen durch den Einschalte-Stromstoß nur in seltenen Fallen zum Abschmelzen gebracht und geben bei Kurzschlussen immerhin noch einen gewissen Schutz fur den Spannungswandler ab

Die **Niederspannungs-Sicherungen auf der Sekundarseite** dienen zum Schutze des Spannungswandlers gegen Uberlastung infolge falscher Schaltung, falscher Erdung oder Schluß in den Leitungen **Zu sichern sind alle Sekundarleitungen, die nicht geerdet werden** In den allermeisten Fallen genugt die Verwendung der 2-Ampere-Sicherung Kommen hohere Belastungen als 200 Voltampere in Frage, so richtet sich die Wahl der Sicherung nach der auf Seite 141 fur die einzelnen Typen angegebenen, hochsten zulassigen Energieentnahme, die Sicherungspatrone ist dann fur den nachst hoheren Normalstrom zu bemessen

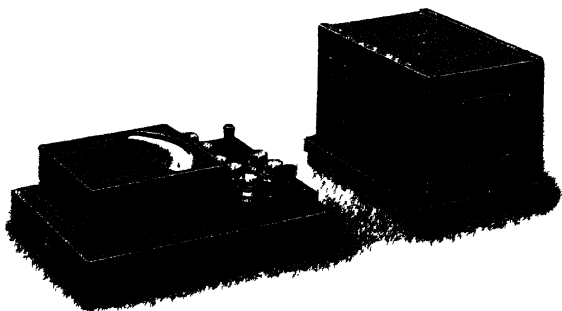
Beim **Inbetriebsetzen** ist zu beachten, daß die Spannungswandler entsprechend der Schaltregel 3 auf Seite 120 sekundar nur uber einen hohen Widerstand geschlossen werden durfen, sie konnen aber ebensogut offen bleiben

II. Teil.

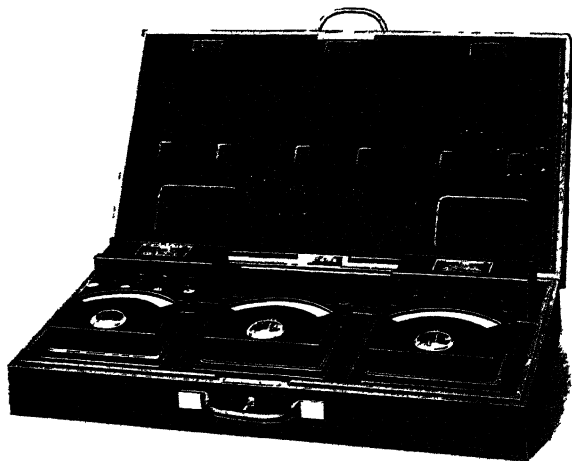
Meßschaltungen.

A. Allgemeines über Wechselstrom-Leistungsmessungen.

Die Leistung eines Wechselstromsystems kann direkt oder indirekt gemessen werden. Bei der direkten Messung liegen die Meßinstrumente direkt im Stromkreise bzw. an der zu messenden Spannung, während bei der indirekten Messung nur die Sekundärströme bzw. -spannungen eingeschalteter Meßwandler für die Messung verwendet werden. Beide Methoden können auch vereinigt werden, indem man entweder den Strom indirekt und die Spannung direkt oder den Strom direkt und die Spannung indirekt mißt.

a) Direkte Leistungsmessungen

Für direkte Leistungsmessungen sind in erster Linie die dynamometrischen Präzisions-Instrumente der **Laboratoriumstype** bestimmt, die auf Seite 19 näher beschrieben sind. Mit dieser Instrumenttype können Messungen bei Stromstärken bis zu 400 Ampere ausgeführt werden. Für die Spannung gibt es praktisch keine obere Grenze, da sämtliche Instrumente dieser Type mit Hochspannungsausrüstung versehen sind, wodurch die bei höheren Spannungen auftretenden Störungen durch elektrische Ladungserscheinungen vermieden werden. Die normalen Ausführungen sehen Widerstände für Spannungen bis zu 6000 Volt vor. Darüber hinaus wird man schon wegen der Gefahren bei der direkten Hochspannungsmessung kaum gehen, wenn nicht besondere Gründe, wie z. B. das Auftreten von erheblichen

Gleichstromkomponenten in der Strom- oder in der Spannungskurve (bei Messungen an Lichtbogenofen), die Verwendung von Meßwandlern nicht ratsam erscheinen lassen

b) Indirekte Leistungsmessungen.

Fur indirekte Leistungsmessungen benutzt man die dynamometrischen Prazisions-Instrumente der **Pruffeldtype**, die auf Seite 51 beschrieben sind Entsprechend den Sekundarmeßbereichen der Prazisions-Strom- und -Spannungswandler erhalten die Instrumente der Pruffeldtype nur einen Strommeßbereich von 5 Ampere und einen Spannungsmeßbereich von 100 bzw 130 Volt Die Moglichkeit, mit einem Instrument sowohl bei der Kontrolle als auch bei der Messung alle Meßbereiche beherrschen zu konnen, bedeutet einen wesentlichen Vorzug Bei ambulanten Messungen ergibt sich hierdurch ferner eine erhebliche Verringerung der Transportkosten, da nur ein Satz Instrumente mitgefuhrt zu werden braucht Da bei der indirekten Messung alle abzulesenden Instrumente nur Niederspannung fuhren und außerdem noch geerdet werden, sind alle Gefahren, Unbequemlichkeiten und meßtechnischen Schwierigkeiten der direkten Hochspannungsmessungen vermieden Man sollte daher fur Hochspannungsmessungen, wenn irgend moglich, stets Strom- und Spannungswandler verwenden

c) Halbindirekte Leistungsmessungen.

Fur mittlere Spannungen — bis etwa 600 Volt — ist es oft vorteilhaft, den **Strom indirekt** und die **Spannung direkt** zu messen Die Stromwandler dienen dann nur als **Meßbereichwahler** und ermoglichen es, die Instrumente der Pruffeldtype fur alle Strommeßbereiche in ahnlicher Weise zu benutzen, wie dies bei Gleichstrom durch Verwendung eines Instruments mit einer Reihe von außeren Nebenschlussen geschieht Die Spannungen werden bei dieser Schaltung unter Benutzung außerer Vorschaltwiderstande direkt gemessen Um Potentialdifferenzen zwischen der Strom- und der Spannungsspule des Leistungsmessers zu vermeiden, ist es bei einer derartigen Schaltung stets erforderlich, die Primar- und die Sekundarwickelung des Stromwandlers kurz zu verbinden Hierdurch erhalten die Instrumente das Potential der Primarleitung, es sind daher die gleichen Vorsichtsmaßregeln zu beachten wie bei der direkten Messung

Die **direkte Messung des Stromes** und die **indirekte Messung der Spannung** kommen fur normale Messungen kaum in Betracht Bei Hochspannung wurde eine derartige Schaltung zwar den Vorteil bieten, daß der Energieverbrauch der Spannungskreise wesentlich herabgedruckt wird Um Potentialdifferenzen in den Meßinstrumenten zu vermeiden, mußte man jedoch die Primar- und Sekundarwickelung des Spannungswandlers kurz verbinden, so daß die Sekundarwickelung und die Meßinstrumente das Potential der Hochspannungsleitung bekamen Der Spannungswandler und samtliche angeschlossenen Instrumente mußten daher fur die volle Betriebsspannung isoliert aufgestellt werden Wegen der Gefahren, die eine direkte Hochspannungsmessung stets fur den Beobachter birgt, wird man eine solche Schaltung nach Moglichkeit vermeiden und dafur die indirekte Strommessung anwenden Bei der heutigen Vollkommenheit der Prazisions-Stromwandler liegt kein Grund vor, von der indirekten Strommessung abzusehen, wenn es sich nicht um Leistungen mit ungewohnlich kleinem Leistungsfaktor handelt

Bei der Ausfuhrung der im folgenden angegebenen Schaltbilder ist in erster Linie auf moglichst gute Übersichtlichkeit der Schaltung Rucksicht genommen Dies ist bei den Schaltungen fur ambulante Messungen, die fur jede Messung besonders aufgebaut werden mussen, von großter Wichtigkeit, besonders dann, wenn die auftretenden Meßfehler berucksichtigt werden sollen Daher sind in einigen Fallen der Übersichtlichkeit wegen einige Leitungen mehr gezogen worden, als

unbedingt erforderlich sind, jedoch ist hierdurch in keinem Fall ein Meßfehler bedingt Besonders ist dies bei den Schaltungen fur indirekte Messungen nach der Zwei- und Drei-Leistungsmesser-Methode der Fall, bei denen sich einesteils die geerdeten Leitungen zwischen Stromwandlern und Meßinstrumenten, andernteils die geerdeten Leitungen zwischen Spannungswandlern und Meßinstrumenten in je eine Leitung zusammenziehen lassen Dies mag wohl bei ortsfesten Schaltanlagen, wo es auf Materialersparnis ankommt, zweckmaßig sein, bei den Schaltungen fur ambulante Messungen kann jedoch die Ersparnis einiger Leitungen nicht ins Gewicht fallen, weil sie auf Kosten der Übersichtlichkeit der Schaltung erfolgt

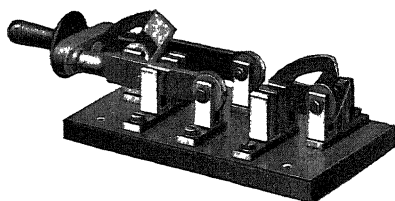
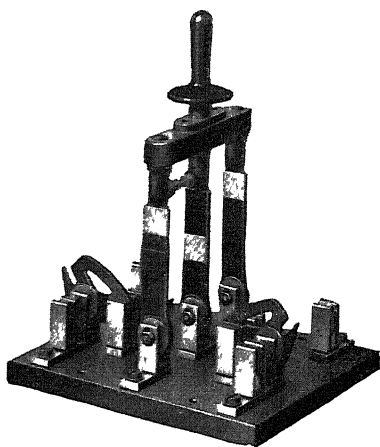
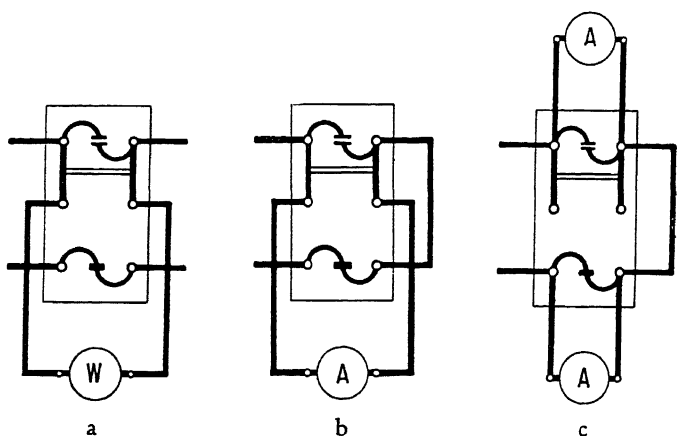
---

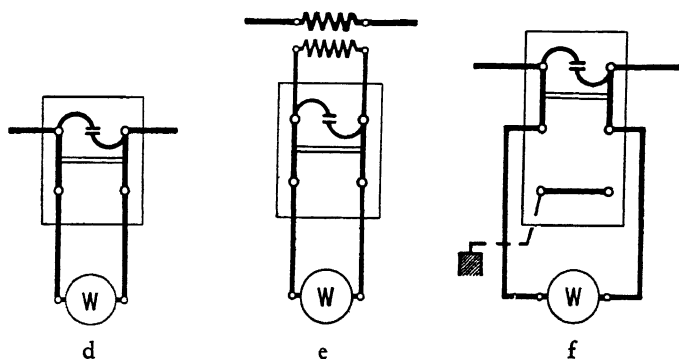
B. Schalter für Leistungsmessungen.

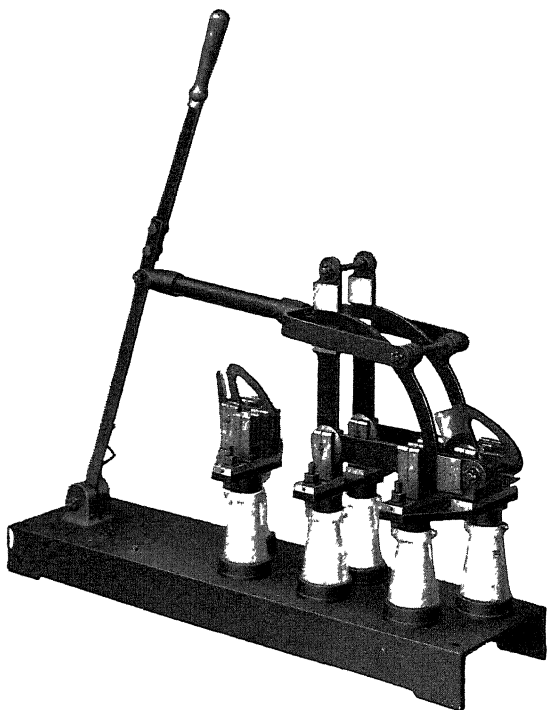
a) Stromumschalter.

Die Stromumschalter dienen dazu, die Strommeßgerate ohne Stromunterbrechung aus einer Leitung herauszunehmen und in eine andere einzuschalten Um dies zu ermoglichen, erhalten diese Schalter eine selbsttatige Kurzschlußvorrichtung, durch die die Schalterkontakte beim Herausnehmen der Schaltmesser kurzgeschlossen und beim Einlegen der Schaltmesser getrennt werden Die Kurzschlußvorrichtung besteht aus einem segmentformigen Schaltstuck, das durch einen Mitnehmerstift des Schaltmessers betatigt wird Da die fur dieses Schaltstuck vorgesehenen Hilfskontakte die gleichen Abmessungen haben wie die Schalterkontakte, kann die Kurzschlußvorrichtung dauernd den vollen Nennstrom des Schalters tragen

Im Schaltbild *a* auf Seite 153 ist die normale Verwendung des Stromumschalters dargestellt Das Meßgerat kann bei dieser Schaltung wahlweise in die obere oder untere Leitung eingeschaltet werden, ohne daß der Strom in diesen Leitungen unterbrochen wird Die Mittelstellung des Schalters kann bei den Niederspannungsschaltern zum Abschalten des Meßgerates benutzt werden Das Schaltbild *b* zeigt die Verwendung des Umschalters als Stromwender Die Wendung des Instrumentstromes geschieht auch hier ohne Unterbrechung des Hauptstromes In der Mittelstellung ist das Meßgerat vollstandig abgetrennt, also strom- und spannungslos In Schaltbild *c* endlich dient der Umschalter als Meßbereichwahler Hierbei konnen zwei Meßgerate mit verschiedenen Meßbereichen wahlweise eingeschaltet oder kurzgeschlossen werden

Die Ausfuhrung der Schalter geht aus den umstehenden Abbildungen hervor Die Schalter werden fur Niederspannung und fur Hochspannung ausgefuhrt Die Niederspannungsausfuhrung kann fur Spannungen bis 750 Volt benutzt werden Die Hochspannungs-Umschalter fur Spannungen bis 15000 Volt werden durch einen besonders geerdeten Bedienungshebel gefahrlos in Tatigkeit gesetzt Um hierbei den Schaltweg des Hebels zu verkurzen, haben diese Schalter zwei im rechten Winkel zueinander stehende Schaltmesser erhalten Außer der normalen Niederspannungsausfuhrung wird noch ein dreipoliger

Niederspannungs-Stromumschalter
für Spannungen bis 750 Volt

Schaltungen fur Stromumschalter

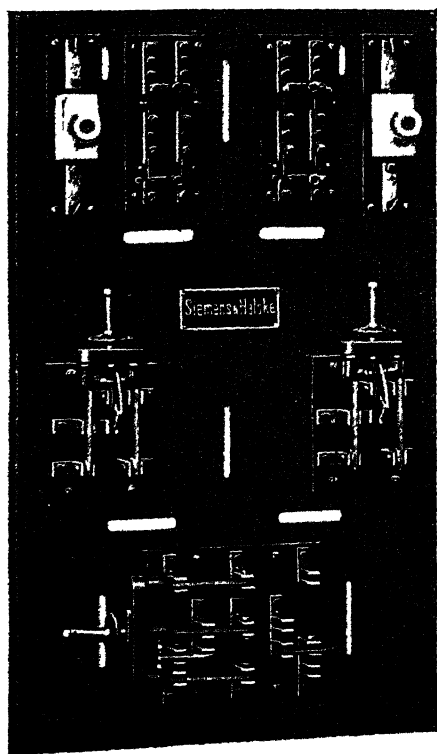
a) Verwendung als Stromumschalter, b) Verwendung als Stromwender, c) Verwendung als Meßbereichumschalter

Schaltungen fur Stromabschalter.

d) Abschalter fur direkte Messungen, e) Abschalter auf der Sekundarseite von Stromwandlern, f) Erdungsabschalter

Hochspannungs=Stromumschalter
fur Spannungen bis 15000 Volt

Stromumschalter hergestellt Der dritte Pol dieses Schalters dient zur gleichzeitigen Umschaltung einer Spannungsmeßleitung auf einen anderen Netzpol Die zuletzt genannte Umschaltung findet naturgemaß mit Stromunterbrechung statt

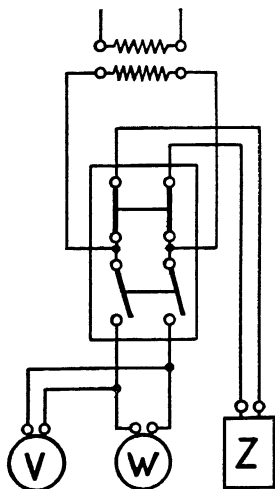
b) Stromabschalter.

Die Stromabschalter dienen dazu, die Strommeßgerate ohne Stromunterbrechung aus einer Leitung herauszunehmen oder sie in dieselbe Leitung einzuschalten Zu diesem Zweck erhalten die Abschalter eine selbsttatige Kurzschlußvorrichtung, durch die die Schalterkontakte beim Herausnehmen der Schaltmesser kurzgeschlossen und beim Einlegen der Schaltmesser getrennt werden Die Kurzschlußvorrichtung ist in gleicher Weise ausgebildet wie die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Kurzschlußvorrichtung der Stromumschalter

Im Schaltbild *d* auf Seite 153 ist die normale Verwendung des Abschalters fur direkte Messungen dargestellt Hierbei kann der Abschalter dazu benutzt werden, die Meßgerate wahrend langerer Meßpausen ohne Storung des Betriebes stromlos zu machen, man kann aber die Abschalter auch dazu verwenden, die stromlos gemachten Meßgerate ohne Betriebsunterbrechung gefahrlos auf einen anderen Meßbereich umzuschalten Mit Spannungswickelungen versehene Instrumente wie Leistungsmesser und Leistungsfaktormesser mussen allerdings hierbei auch spannungslos gemacht werden, d h es mussen die vom anderen Netzpol kommenden Spannungsleitungen abgetrennt werden Dies geschieht entweder durch Herausnehmen der Sicherungen oder durch Verwendung der im nachstehenden Abschnitt beschriebenen Spannungsabschalter Besonders wichtig ist die im Schaltbild *e* dargestellte Verwendung des Abschalters auf der Sekundarseite von Stromwandlern, da hier ein unbeabsichtigtes Öffnen des Sekundarkreises eine Beschadigung des Stromwandlers zur Folge haben wurde Das Schaltbild *f* endlich zeigt die Verwendung des Abschalters bei Hochspannung Um auch hier die Gefahr beim Beruhren der abgeschalteten Meßgerate zu beseitigen, wird zweckmaßig ein Erdungsabschalter benutzt, der die abgetrennten Meßgerate selbsttatig an Erde legt Naturlich mussen etwaige Spannungsleitungen der Meßgerate vor dem Betatigen des

Universal-Schalttafel für Leistungsmessungen

Auf der Schalttafel sind sämtliche für die Sekundärseite von Meßwandlern erforderlichen Schalter und Sicherungen angebracht. Die Leitungsverbindungen werden von Fall zu Fall entsprechend der gewählten Schaltung hergestellt. Die Leitungen werden hierbei durch die Schlitze nach hinten durchgeführt, so daß die Schaltfläche frei bleibt.

Erdungsabschalters durch Herausnehmen der Hochspannungssicherungen vom Netz abgetrennt sein Die Ausfuhrung der Stromabschalter ist im wesentlichen die gleiche wie bei den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Stromumschaltern

c) Spannungsabschalter.

Die Spannungsabschalter dienen dazu, die Spannungsmeßgerate wahlweise von der Netzspannung bzw von der Sekundarseite der Spannungswandler abzuschalten Die Sekundarwickelung des Spannungswandlers bleibt bei abgeschalteten Instrumenten naturgemaß offen

Die Verwendung dieser Schalter ergibt sich ohne weiteres aus dem obenstehenden Schaltbild Als besonders zweckmaßig erweist sich dieser Schalter fur Dauerversuche, bei denen Zahler bzw aufzeichnende Instrumente in Verbindung mit Prazisions-Instrumenten benutzt werden Die Prazisions-Instrumente werden dann nur zur Kontrolle bzw Eichung der anderen Instrumente zeitweilig eingeschaltet, wahrend jene dauernd angeschlossen bleiben

d) Spannungswender.

Zum Umkehren des Spannungsstromes werden zweckmäßig nur die in die Leistungsmesser eingebauten Spannungswender benutzt. Die Spannungswendung erfolgt hierbei ohne Unterbrechung des Spannungskreises. Hieraus ergibt sich der Vorteil, daß gefährliche Potentialdifferenzen zwischen der Stromspule und der Spannungsspule des Leistungsmessers, die bei den mit Stromunterbrechung arbeitenden Spannungswendern im Augenblick des Abschaltens durch ungleichzeitiges Öffnen der Schalterkontakte entstehen können, in jedem Falle vermieden werden. Aus dem gleichen Grunde kann der eingebaute Spannungswender ohne weiteres auch für Hochspannung benutzt werden, sofern die Bedienung des Schalterknebels durch einen besonderen, für die volle Spannung isolierten Handgriff erfolgt. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des eingebauten Spannungswenders ist darin zu sehen, daß durch ihn die äußere Schaltung nach Möglichkeit vereinfacht wird.

C. Einphasenstrom-Leistungsmessungen

1. Direkte Messungen.

a) Leistungsformel und Schaltungen

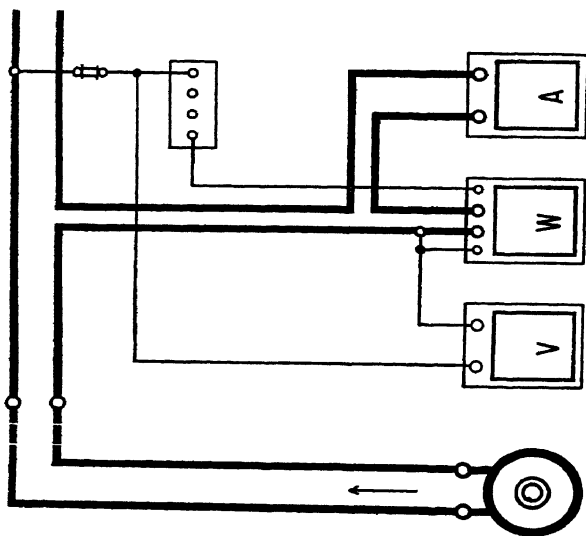
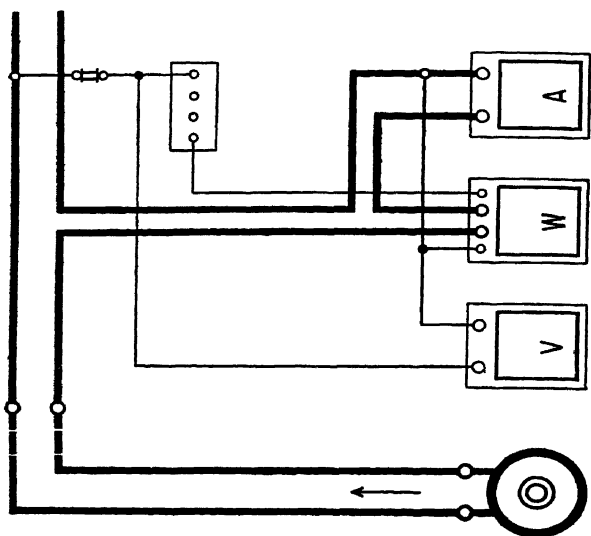
Bei der direkten Messung ergibt sich die Leistung eines Einphasen-Systems unmittelbar aus den Angaben des Leistungsmessers (vgl Seite 38 u 78) Die gemessene **Leistung** beträgt demnach

$$P = C \cdot c \cdot \alpha \qquad \text{Watt}$$

Zur Bestimmung des Leistungsfaktors ist außer der Leistungsmessung noch die Messung des Stromes und der Spannung erforderlich Ist I der gemessene Strom und E die gemessene Spannung, so ist der **Leistungsfaktor**

$$\cos\varphi = \frac{P}{E \cdot I}$$

Da der Leistungsfaktor in den meisten Fällen bestimmt werden muß, wird man in einer vollständigen Meßschaltung stets auch Strom- und Spannungsmesser vorsehen Es ergeben sich dann unter Beachtung der auf Seite 35 und 76 angegebenen Schaltregeln die beiden **Normalschaltungen** auf Seite 160 Bei diesen sind die Schaltregeln in folgender Weise berücksichtigt

Bei beiden Schaltungen sind die Vorschaltwiderstände an diejenige Spannungsklemme angeschlossen, die nicht mit der Stromspule verbunden ist Infolgedessen beträgt die Spannung zwischen der festen Stromspule und der beweglichen Spannungsspule des Leistungsmessers höchstens 30 Volt (entsprechend der 1000-Ohm-Klemme des Leistungsmessers) Die Schaltregel 1 ist also erfüllt Entsprechend der Schaltregel 2 tritt der vom links liegenden Stromerzeuger kommende Strom in zwei benachbarte Strom- und Spannungsklemmen des Leistungsmessers (z B die beiden linken Klemmen) ein, so daß der Zeigerausschlag im richtigen Sinne erfolgen muß Die vom anderen Leitungspol in die Meßschaltung führende Spannungsleitung ist nach Schaltregel 3 gesichert

Normalschaltungen fur direkte Wechselstrom-Leistungsmessungen

b) Eigenverbrauch der Meßschaltung

Die beiden nebenstehenden Normalschaltungen unterscheiden sich nur durch den Anschluß der Spannungsleitungen, die einmal vor den Strommeßgeraten, also auf der Stromerzeugerseite der Schaltung, und das andere Mal hinter den Strommeßgeraten, also auf der Stromverbraucherseite angeschlossen sind Die bei beiden Schaltungen gemessenen Spannungen unterscheiden sich daher um den Spannungsabfall in den Strom-Meßinstrumenten Die gemessenen Strome sind bei beiden Schaltungen ebenfalls verschieden, da der von den Spannungs-Meßgeraten verbrauchte Strom bei Schaltung I nicht durch die Stromspule des Leistungsmessers fließt, wahrend er bei Schaltung II mitgemessen wird Hierbei ergeben sich bei den Messungen folgende Unterschiede

Bei der **Untersuchung eines Stromerzeugers** wird bei **Schaltung I** zwar die richtige Spannung gemessen, aber der gemessene Strom ist zu klein, da der Stromverbrauch der Spannungs-Meßgerate nicht mitgemessen wird Die gemessene Leistung ist also um den Eigenverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers und den Eigenverbrauch des Spannungsmessers zu klein Bei **Schaltung II** wird zwar der gesamte vom Stromerzeuger kommende Strom gemessen, dafur ist aber die gemessene Spannung um den Spannungsabfall in den Strom-Meßgeraten zu klein Infolgedessen ist auch die gemessene Leistung um den Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungsmessers und den Eigenverbrauch des Strommessers zu klein

Bei der **Untersuchung eines Stromverbrauchers** wird bei **Schaltung I** der gesamte vom Stromverbraucher aufgenommene Strom gemessen Die gemessene Spannung ist aber um den Spannungsabfall in den Strom-Meßgeraten zu hoch Die vom Leistungsmesser angezeigte Leistung ist also um den Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungsmessers und den des Strommessers zu hoch Bei **Schaltung II** wird zwar die richtige Klemmenspannung am Stromverbraucher gemessen, dafur ist aber der gemessene Strom um den Stromverbrauch der Spannungs-Meßgerate zu hoch Die gemessene Leistung ist daher um den Eigenverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers und den Eigenverbrauch des Spannungsmessers zu hoch

Um die **Wahl der zweckmaßigsten Schaltung** zu erleichtern, sind die Korrektionsglieder fur beide Schaltungen umstehend tabellarisch zusammengestellt

Es soll gemessen werden die Leistung des	Schaltung	Die wirkliche Leistung ergibt sich aus gemessener Leistung	Bei hoheren Spannungen treten die kleinsten Fehler auf bei Schaltung*)
Stromerzeugers	I	+ {Eigenverbrauch des Spannungsmessers und des Spannungskreises des Leistungsmessers}	II
	II	+ {Eigenverbrauch des Strommessers und der Stromspule des Leistungsmessers}	
Stromverbrauchers	I	− {Eigenverbrauch des Strommessers und der Stromspule des Leistungsmessers}	I
	II	− {Eigenverbrauch des Spannungsmessers und des Spannungskreises des Leistungsmessers}	

Fur die meisten praktischen Falle kann man auf eine Korrektion des gemessenen Wertes verzichten, wenn man die Schaltung wahlt, die die kleinsten Fehler ergibt Sollen fur besonders genaue Messungen namentlich kleinerer Leistungen die Fehler berucksichtigt werden, so sind die Schaltungen vorzuziehen, bei denen der Energieverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers und des Spannungsmessers als Korrektionsglieder auftreten Dies ergibt auf der einen Seite den Vorteil, daß sich die Korrektionsglieder aus den bekannten Widerstanden nach der Beziehung E^2/R leicht berechnen lassen, andererseits aber ist das Korrektionsglied fur eine ganze Messungsreihe mit konstanter Spannung konstant

c) Rechnungsbeispiel

Es soll die von einem Wechselstrommotor aufgenommene Leistung bestimmt werden Die Netzspannung betragt 500 Volt Nach vorheriger Schatzung ergab sich ein Hochststrom von 50 Ampere, es wurden daher Instrumente der Laboratoriumstype, und zwar ein Leistungsmesser fur 50 Ampere mit 1000-Ohm-Klemme und 150-teiliger Skala nebst außerem

*) Wird zur Strommessung ein dynamometrischer Strommesser benutzt, so ist dieser wahrend der Leistungsmessung mittels des Stopsels kurzzuschließen

Vorschaltwiderstand fur 600 Volt, ein Strommesser fur 50 Ampere und ein Spannungsmesser fur 600 Volt gewahlt Wie groß ist die Leistung, wenn der Leistungsmesser einen Ausschlag von 90 Skalenteilen ergibt?

Instrument=Konstante

des Leistungsmessers (vgl Seite 34) $c = \frac{50 \quad 30}{150} = 10$

Widerstands=Konstante (vgl Seite 37) $C = \frac{600}{30} = 20$

Die Leistung betragt also

$$P = C \quad c \quad \alpha = 20 \quad 10 \quad 90 = 18000 \text{ Watt}$$

Wahrend der Messung zeigte der Spannungsmesser eine Spannung von 500 Volt, der Strommesser einen Strom von 42,5 Ampere Der Leistungsfaktor des Motors ergibt sich hieraus zu

$$\cos \varphi = \frac{P}{E \quad I} = \frac{18000}{500 \quad 42{,}5} = 0{,}85$$

Die durch den Eigenverbrauch der Instrumente bei der Leistungs=messung nach **Schaltung I** verursachten Fehler betragen

Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungsmessers (bei vollem Strome etwa 4 Watt, vgl Seite 35) $4 \cdot \frac{42{,}5^2}{50^2} = 2{,}9$ Watt

Eigenverbrauch des Strommessers (bei vollem Strome etwa 50 Watt, vgl S 49) $50 \cdot \frac{42{,}5^2}{50^2} = 36$ Watt

Da der Eigenverbrauch des elektrodynamischen Strommessers ver=haltnismaßig hoch ist, wird man den Strommesser wahrend der Ablesung des Leistungsmessers durch den Kurzschlußstopsel kurzschließen Es ist daher als Fehler nur der Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungs=messers, also 2,9 Watt, zu berucksichtigen Der hierdurch verursachte Fehler betragt nur 0,016 % der gemessenen Leistung und kann vernach=lassigt werden

Bei Anwendung der **Schaltung II** wurden sich folgende Fehler ergeben

Eigenverbrauch des Leistungs=messer=Spannungskreises (Wider=stand C   1000 Ohm, vgl S 37) $\frac{E^2}{R} = \frac{500^2}{20 \cdot 1000} = 12{,}5$ Watt

Eigenverbrauch des Spannungs=messers (Widerstand etwa 20000 Ohm, vgl Seite 43) $\frac{E^2}{R} = \frac{500^2}{20000} = 12{,}5$ Watt

Summe 25 Watt

Der Leistungsmesser wurde also bei Schaltung II um 25 Watt zuviel anzeigen, was einem Fehler von 0,14% entspricht Der Fehler ist demnach großer als bei Schaltung I

2. Indirekte Messungen.

a) Leistungsformel und Schaltungen

Bei der indirekten Leistungsmessung mit Strom- und Spannungswandlern sind die Angaben des Leistungsmessers (vgl Seite 61 und 77) noch mit den Ubersetzungen der Meßwandler zu multiplizieren (vgl Seite 128 und 140) Die **gemessene Leistung** betragt demnach

$$P = \frac{I}{5} \; \frac{E}{100} \; c \; \alpha \qquad \text{Watt}$$

Der **Leistungsfaktor** ergibt sich aus dem gemessenen Strome I und der gemessenen Spannung E

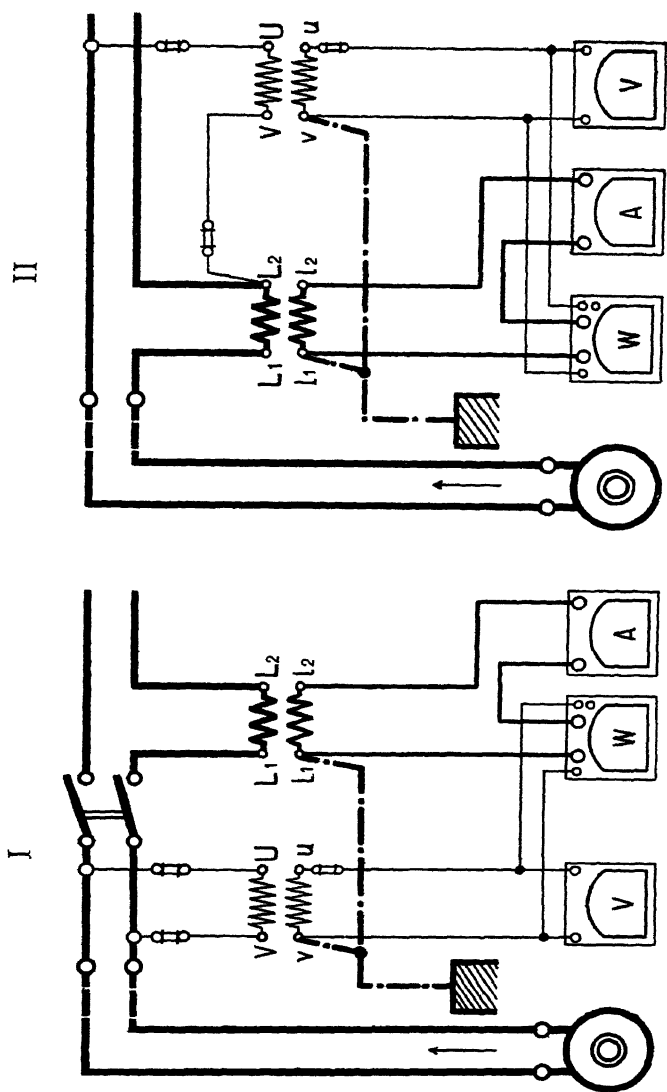
$$\cos\varphi = \frac{P}{E \; I}$$

Bei besonders genauen Messungen mussen noch die Übersetzungs- und Phasenverschiebungsfehler des Stromwandlers berucksichtigt werden, die in den Korrektionskurven der Stromwandler angegeben sind (vgl Seite 132) Man bestimmt zu diesem Zweck den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ und entnimmt aus der diesem Leistungsfaktor entsprechenden Korrektionskurve den Korrektionsfaktor f fur die vorliegende Strombelastung des Stromwandlers Die **korrigierte Leistung** betragt dann

$$P = \frac{I}{5} \; \frac{E}{100} \; c \; \alpha \; f \qquad \text{Watt}$$

Eine Korrektion der Angaben des Spannungswandlers ist nicht erforderlich, weil die durch ihn verursachten Fehler verschwindend klein sind

Unter Berucksichtigung der Schaltregeln fur Instrumente und Meßwandler ergeben sich fur indirekte Messungen die **Normalschaltungen** auf Seite 165 Die Schaltregeln fur Meßwandler (vgl Seite 119) sind hierbei in der folgenden Weise berucksichtigt

Nach Schaltregel 5 sind die Sekundarwickelungen der Strom- und Spannungswandler geerdet An diese Erdleitung sind noch die Gehause der Meßwandler anzuschließen, die im Schaltbild nicht angedeutet sind Die Spannungswandler sind nach Schaltregel 4 auf der Primarseite allpolig gesichert, wahrend auf der Sekundarseite nur die nicht geerdete Leitung gesichert ist Bei der Inbetriebsetzung der Schaltung sind noch die Schaltregeln 1 bis 3 zu beachten Schaltregel 1 dient der personlichen

Normalschaltungen fur indirekte Wechselstrom-Leistungsmessungen

Sicherheit des Beobachters, wahrend die Schaltregeln 2 und 3 eine Beschadigung der Meßwandler durch falsche Bedienung verhuten sollen

b) Eigenverbrauch der Meßschaltung

Die beiden Schaltungen auf Seite 165 unterscheiden sich nur durch den Anschluß des Spannungswandlers, der einmal vor und das andere Mal hinter dem Stromwandler angeschlossen ist Die bei beiden Schaltungen gemessenen Spannungen unterscheiden sich daher nur durch den Spannungsabfall, der in dem mit den Strom-Meßinstrumenten belasteten Stromwandler auftritt Die gemessenen Strome sind ebenfalls in beiden Schaltungen verschieden, da der Stromverbrauch des mit den Spannungs-Meßinstrumenten belasteten Spannungswandlers nur bei Schaltung II mitgemessen wird Die sich fur die Messungen hieraus ergebenden Unterschiede entsprechen den Angaben auf Seite 161 Zu dem Eigenverbrauch der Spannungs-Meßinstrumente kommt noch der Eigenverbrauch des Spannungswandlers hinzu, der im wesentlichen aus den Eisenverlusten besteht (Leerlaufwatt, vgl Seite 142) Zu dem Eigenverbrauch der Strom-Meßgerate ist noch der Eigenverbrauch des Stromwandlers zu addieren, der im wesentlichen aus Kupferverlusten besteht (Vgl Seite 129)

Um die **Wahl der zweckmaßigsten Schaltung** zu erleichtern, sind die Korrektionsglieder fur beide Schaltungsmoglichkeiten nachstehend tabellarisch zusammengestellt

Es soll gemessen werden die Leistung des	Schaltung	Die **wirkliche Leistung** ergibt sich aus gemessener Leistung	Die kleinsten Fehler treten auf bei Schaltung
Stromerzeugers	I	+ { Eigenverbrauch des Spannungswandlers, des Spannungsmessers und des Spannungskreises des Leistungsmessers }	I
	II	+ { Eigenverbrauch des Stromwandlers, des Strommessers und der Stromspule des Leistungmessers }	
Stromverbrauchers	I	− { Eigenverbrauch des Stromwandlers, des Strommessers und der Stromspule des Leistungsmessers }	II
	II	− { Eigenverbrauch des Spannungswandlers, des Spannungsmessers und des Spannungskreises des Leistungsmessers }	

Fur die meisten praktischen Falle kann man auf eine Korrektion des gemessenen Wertes verzichten, sofern die zu messende Leistung nicht zu klein ist Bei kleineren Leistungen wird man sich am besten durch eine Überschlagsrechnung ein Bild von der Große der auftretenden Fehler machen Ergibt sich hierbei, daß man von einer Korrektion der gemessenen Werte absehen kann, so wird man die Schaltung wahlen, die die kleinsten Fehler ergibt Da der Eigenverbrauch des Stromwandlers im allgemeinen großer ist als der des Spannungswandlers, wird man diejenigen Schaltungen nehmen, bei denen der Eigenverbrauch des Spannungswandlers als Fehlergroße auftritt. Bei der Untersuchung von **Generatoren** ist dies **bei Schaltung I** der Fall Diese Schaltung hat fur Generatoren den weiteren Vorteil, daß man deren Spannung messen kann, bevor der vor den Stromwandlern liegende Hauptschalter eingelegt ist Bei der Untersuchung von **Motoren** gibt **Schaltung II** die kleineren Fehler Auch wenn man bei besonders genauen Messungen kleinerer Leistungen die Fehler durch eine Korrektion berucksichtigen will, sind die angegebenen Schaltungen vorzuziehen, da sich die Korrektionsgroße leichter berechnen laßt und bei allen Messungen mit konstanter Spannung die gleiche Große hat

c) Rechnungsbeispiel

Es soll die von einem Wechselstrommotor aufgenommene Leistung bestimmt werden Die Netzspannung betragt 6000 Volt, die Frequenz ist gleich 50 Nach vorheriger Schatzung ergibt sich ein Hochststrom von 50 Ampere Zur Messung werden die Instrumente der Pruffeldtype, und zwar ein Leistungsmesser fur 5 Ampere, 90 Volt mit 150-teiliger Skala, ein Strommesser fur 5 Ampere mit 100-teiliger Skala und ein Spannungsmesser fur 130 Volt benutzt Diese Instrumente werden an einen Prazisions-Spannungswandler fur 6000 100 Volt und einen Prazisions-Stromwandler fur 50 5 Ampere, entsprechend dem Schaltbild auf Seite 165, angeschlossen Wie groß ist die gemessene Leistung, wenn der Leistungsmesser einen Ausschlag von 130 Skalenteilen gibt?

Instrument-Konstante des Leistungsmessers (vgl Seite 58) $\quad c = \frac{5 \cdot 90}{150} = 3$

Ubersetzung des Stromwandlers (mit 5 Ampere Sekundarstrom) $\quad \frac{I}{5} = \frac{50}{5}$

Ubersetzung des Spannungswandlers (mit 100 Volt Sekundarspannung) $\quad \frac{E}{100} = \frac{6000}{100}$

Die Leistung betragt also

$$P = \frac{I}{5} \quad \frac{E}{100} \quad c \quad \alpha = \frac{50}{5} \quad \frac{6000}{100} \quad 3 \quad \alpha = 1800 \quad \alpha \text{ Watt}$$

Fur einen Ausschlag von 130 Skalenteilen betragt demnach die Leistung

$$P = 1800 \quad 130 = 234000 \text{ Watt}$$

Bei der Messung zeigte der Spannungsmesser einen Ausschlag von 99,5 Skalenteilen, die Netzspannung betrug also

$$99{,}5 \quad \frac{6000}{100} = 5970 \text{ Volt}$$

Der Strommesser gab an der 100-teiligen Skala (vgl Seite 66) einen Ausschlag von 88 Skalenteilen, so daß der Strom

$$88 \quad \frac{50}{100} = 44 \text{ Ampere}$$

betrug

Der Leistungsfaktor des Motors ergibt sich hieraus

$$\cos \varphi = \frac{P}{E \quad I} = \frac{234000}{5970 \quad 44} = 0{,}89$$

Bei **Schaltung II**, die nach dem Vorhergehenden bei dieser Messung am gunstigsten ist, ergeben sich durch den Eigenverbrauch der Instrumente und Meßwandler folgende Fehler

Eigenverbrauch des Spannungswandlers (Leerlaufwatt bei Frequenz 50, vgl Seite 142) — 6,5 Watt

Eigenverbrauch d Leistungsmesser-Spannungskreises (Widerstand fur 90 Volt 3000 Ohm, vgl Seite 57) — $\frac{E^2}{R} = \frac{99{,}5^2}{3000} = 3{,}3$ Watt

Eigenverbrauch des Spannungsmessers (fur Meßbereich 130 Volt etwa 2200 Ohm, vgl Seite 65) — $\frac{E^2}{R} = \frac{99{,}5^2}{2200} = 4{,}5$ Watt

Summe 14,3 Watt

Der hierdurch verursachte prozentuale Fehler betragt

$$\frac{14{,}3 \quad 100}{234000} = 0{,}006\,\%$$

der gemessenen Leistung und kann vollstandig vernachlassigt werden

Bei **Schaltung** I wurden sich folgende Fehler ergeben

Eigenverbrauch des Stromwandlers (bei Vollast 25 Watt, vgl Seite 129)	$25 \frac{44^2}{50^2} = 19{,}4$ Watt
Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungsmessers (bei vollem Strome etwa 1,3 Watt, vgl Seite 59)	$1{,}3 \frac{44^2}{50^2} = 1{,}0$ „
Eigenverbrauch des Strommessers (bei vollem Strome etwa 6,5 Watt, vgl Seite 67)	$6{,}5 \frac{44^2}{50^2} = 5{,}0$ „
	Summe 25,4 Watt

Der Fehler ist also großer als bei Schaltung II, kann aber in diesem Falle ebenfalls vernachlassigt werden

3. Halbindirekte Messungen.

a) Leistungsformel und Schaltungen

Bei der halbindirekten Messung mit Stromwandlern als Strom-Meßbereichwahlern und Vorschaltwiderstanden fur den Spannungskreis ergibt sich die **gemessene Leistung** nach den Angaben auf Seite 63 und 128 bzw 78 und 128

$$P = \frac{I}{5} \; C \; c \; \alpha \qquad \text{Watt}$$

Der **Leistungsfaktor** wird aus dem ebenfalls gemessenen Strome I und der gemessenen Spannung E berechnet

$$\cos\varphi = \frac{P}{E \; I}$$

Bei besonders genauen Messungen mussen noch die Übersetzungs- und Phasenverschiebungsfehler der Stromwandler berucksichtigt werden Dies geschieht in der gleichen Weise, wie auf Seite 132 angegeben worden ist Die **korrigierte Leistung** betragt dann

$$P' = \frac{I}{5} \; C \; c \; \alpha \; f \qquad \text{Watt}$$

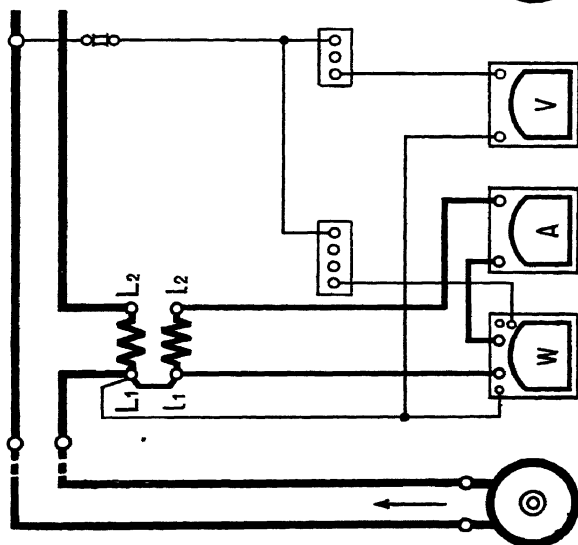
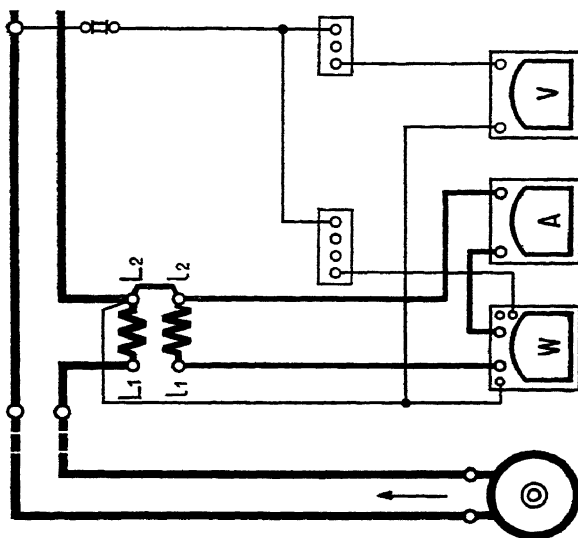
Fur die Ausfuhrung der Messung ergeben sich die **Normalschaltungen** auf Seite 171 Die Schaltregeln fur Leistungsmesser sind hierbei in folgender Weise berucksichtigt:

Nach der Meßwandler-Schaltregel 6 auf S 121 ist die Primarwickelung

des Stromwandlers mit der Sekundarwickelung kurz verbunden, so daß schadliche Potentialdifferenzen im Leistungsmesser vermieden sind (vgl Schaltregel 1 auf Seite 59 bzw 76) Durch diese Verbindung $L_1 - l_1$ bzw $L_2 - l_2$ erhalten aber auch die angeschlossenen Meßinstrumente das Potential der zugehorigen Primarleitung, es sind daher die gleichen Vorsichtsmaßregeln zu beachten wie bei der direkten Messung Da die Klemmen des Stromwandlers stets so bezeichnet sind, daß die Stromrichtung zwischen den Klemmen L_1 und L_2 die gleiche ist wie zwischen den Klemmen l_1 und l_2, wird der Leistungsmesser entsprechend der Schaltregel 2 auf Seite 60 bzw 76 einen richtigen Ausschlag in die Skala hinein geben Nach Schaltregel 3 ist endlich die vom anderen Leitungspol in die Meßschaltung fuhrende Spannungsleitung gesichert

Die **Hohe der zulassigen Spannung** ist fur diese Schaltung durch die Starke der Isolation zwischen der Sekundarwickelung und dem Gehause des Stromwandlers gegeben Bei den Prazisions-Stromwandlern wird die Isolation zwischen Sekundarwickelung und Gehause mit 2000 Volt gepruft, so daß betriebsmaßig Spannungsdifferenzen bis zu 1000 Volt zulassig sind Normalerweise wird die Schaltung fur Spannungen bis 600 Volt angewendet Soll die Schaltung ausnahmsweise (z B bei sehr niedrigen Frequenzen, fur die die Spannungswandler sehr groß und schwer ausfallen) fur hohere Spannungen benutzt werden, so sind die Stromwandler und samtliche angeschlossenen Meßgerate fur die volle Betriebsspannung isoliert aufzustellen Zur Vermeidung von storenden Ladungserscheinungen sind hierbei die mit Hochspannungs-Ausrustung versehenen Instrumente der Laboratoriumstype zu benutzen (vgl Seite 22) Die Messung ist dann als direkte Hochspannungsmessung aufzufassen

b) Eigenverbrauch der Meßschaltung

Die beiden Schaltungen auf Seite 171 unterscheiden sich nur durch den Anschluß der Spannungsleitungen, die einmal vor und das andere Mal hinter dem Stromwandler angeschlossen eind Die bei beiden Schaltungen gemessenen Spannungen unterscheiden sich daher durch den Spannungsabfall des mit den Strom-Meßinstrumenten belasteten Stromwandlers Die vom Leistungsmesser gemessenen Strome sind ebenfalls verschieden, da der Stromverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers und des Spannungsmessers nur bei Schaltung II mitgemessen wird Die sich hieraus fur die Messung ergebenden Unterschiede entsprechen den Angaben auf Seite 161 und 166

Normalschaltungen für halbindirekte Wechselstrom-Leistungsmessungen mit Stromwandlern als Meßbereichwahler

Um die **Wahl der zweckmäßigsten Schaltung** zu erleichtern, sind in der folgenden Tabelle die Korrektionsglieder für beide Schaltungsmöglichkeiten zusammengestellt

Es soll gemessen werden die Leistung des	Schaltung	**Die wirkliche Leistung ergibt sich aus** gemessener Leistung	Die kleinsten Fehler treten auf bei Schaltung
Stromerzeugers	I	+ {Eigenverbrauch des Spannungsmessers und des Spannungskreises des Leistungsmessers}	I
	II	+ {Eigenverbrauch des Stromwandlers, des Strommessers und der Stromspule des Leistungsmessers}	
Stromverbrauchers	I	— {Eigenverbrauch des Stromwandlers, des Strommessers und der Stromspule des Leistungsmessers}	II
	II	— {Eigenverbrauch des Spannungsmessers und des Spannungskreises des Leistungsmessers}	

Für die meisten praktischen Fälle kann man auf eine Korrektion des gemessenen Wertes verzichten, wenn man die Schaltung wählt, die die kleinsten Fehler ergibt Da für Spannungen bis 1000 Volt der Eigenverbrauch des Stromwandlers erheblich höher ist als der Eigenverbrauch der Spannungskreise, so werden diejenigen Schaltungen die günstigsten sein, bei denen der Eigenverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers und des Spannungsmessers als Fehlergröße auftritt Diese Schaltungen sind auch dann vorteilhaft, wenn bei besonders genauen Messungen die Korrektionen berücksichtigt werden sollen, da sich die Korrektionsglieder einfacher berechnen lassen

c) Rechnungsbeispiel

Es soll die von einem Wechselstrommotor aufgenommene Leistung bestimmt werden Die Netzspannung beträgt 210 Volt Nach einer Überschlagsrechnung beträgt der Strom etwa 50 Ampere Zur Messung sollen die Instrumente der Prüffeldtype, und zwar ein Leistungsmesser

für 5 Ampere, 90 Volt, mit 1000-Ohm-Klemme und 150-teiliger Skala, ein Strommesser für 5 Ampere mit 100-teiliger Skala und ein Spannungsmesser für 130 Volt benutzt werden. Für den Leistungsmesser ist ein Vorschaltwiderstand für 240 Volt zum Anschluß an die 1000-Ohm-Klemme, für den Spannungsmesser ein Vorschaltwiderstand für 260 Volt zu verwenden. Die Stromspule des Leistungsmessers und der Strommesser werden entsprechend dem Schaltbild auf Seite 171 an einen Präzisions-Stromwandler für 50 : 5 Ampere angeschlossen.

Wie groß ist die Leistung, wenn der Leistungsmesser einen Ausschlag von 100 Skalenteilen gibt?

Instrument-Konstante des Leistungsmessers (für 5 Ampere, 1000 Ohm, vgl. Seite 58) $c = \frac{5 \cdot 30}{150} = 1$

Widerstands-Konstante (für 240 Volt, vgl. Seite 37) $C = \frac{240}{30} = 8$

Übersetzung des Stromwandlers (mit 5 Ampere Sekundärstrom) $\frac{I}{5} = \frac{50}{5} = 10$

Die Leistung beträgt dann

$$P = \frac{I}{5} \cdot C \cdot c \cdot \alpha = \frac{50}{5} \cdot 8 \cdot 1 \cdot \alpha = 80 \cdot \alpha \text{ Watt}$$

Für einen Ausschlag von 100 Skalenteilen ergibt sich demnach eine Leistung $P = 80 \cdot 100 =$ **8000 Watt**

Bei der Messung zeigte der Spannungsmesser einen Ausschlag von 104 Skalenteilen, die Klemmenspannung des Motors betrug also $2 \cdot 104 =$ **208 Volt.** Der Strommesser gab an der 100-teiligen Skala einen Ausschlag von 90 Skalenteilen, so daß der Strom

$$90 \cdot \frac{50}{100} = \textbf{45 Ampere}$$

betrug. Der Leistungsfaktor des Motors ist demnach

$$\cos \varphi = \frac{P}{E \cdot I} = \frac{8000}{208 \cdot 45} = 0{,}86$$

Bei **Schaltung II**, die für die vorliegende Messung am günstigsten ist, ergeben sich durch den Eigenverbrauch der Meßgeräte folgende Fehler:

Eigenverbrauch des Spannungskreises des Leistungsmessers (Widerstand $C \cdot 1000$ Ohm, vgl. Seite 62) $\frac{E^2}{R} = \frac{208^2}{8 \cdot 1000} = 5{,}4$ Watt

Eigenverbrauch des Spannungsmessers mit Vorschaltwiderstand (Gesamtwiderstand etwa 4400 Ohm, vgl Seite 65) $\frac{E^2}{R} = \frac{208^2}{4400} = 9{,}8$ Watt

Summe 15,2 Watt

Der hierdurch verursachte prozentuale Fehler betragt nur 0,19 %, er kann daher vernachlassigt werden

Bei Schaltung I wurden sich folgende Fehler ergeben

Eigenverbrauch des Stromwandlers (bei voller Last etwa 25 Watt, vgl Seite 129) $25 \frac{45^2}{50^2} = 20$ Watt

Eigenverbrauch der Stromspule des Leistungsmessers (bei vollem Strome etwa 1,3 Watt, vgl Seite 59) $1{,}3 \frac{45^2}{50^2} = 1{,}1$ „

Eigenverbrauch des Strommessers (bei vollem Strome etwa 6,5 Watt, vgl Seite 67) $6{,}5 \frac{45^2}{50^2} = 5{,}3$ „

Summe 26,4 Watt

Dies entspricht einem Fehler von 0,33 % des gemessenen Wertes, die Schaltung ist also fur diese Messung ungunstiger als Schaltung II Die Fehler wurden erst bei der fur die Pruffeldtype zulassigen Hochstspannung von etwa 600 Volt bei den beiden Schaltungen gleich groß werden

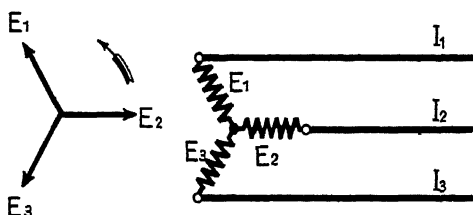
---

D. Drehstrom-Leistungsmessungen.

1. Zwei-Leistungsmesser-Methode.

a) Entwickelung der Leistungsformel

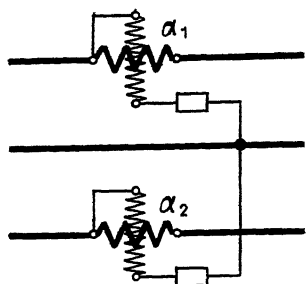
Die Leistung eines Drehstrom-Systems kann als Summe dreier Wechselstrom-Leistungen dargestellt werden. Bezeichnet man mit i_1, i_2, i_3 die Momentanwerte der Ströme in den drei Leitungen und mit e_1, e_2, e_3 die Momentanwerte der Phasenspannungen, die bei Sternschaltung zwischen Nullpunkt und Netzleitern auftreten, so wird der Momentanwert der Leistung

$$P = e_1 \cdot i_1 + e_2 \cdot i_2 + e_3 \cdot i_3$$

Für ein Drehstrom-Dreileiter-System gilt stets die Beziehung

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$
$$i_2 = -(i_1 + i_3)$$

Es wird also $P = e_1 \cdot i_1 - e_2 \cdot i_1 - e_2 \cdot i_3 + e_3 \cdot i_3$

$$P = i_1 \cdot (e_1 - e_2) + i_3 \cdot (e_3 - e_2)$$

Die Klammerausdrücke $(e_1 - e_2)$ und $(e_3 - e_2)$ der obigen Gleichung stellen nichts anderes dar als die verketteten Spannungen, die durch Gegeneinanderschalten von zwei Phasenspannungen entstanden sind. Aus der Gleichung folgt daher, daß sich die Leistung eines Dreileiter-Drehstrom-Verbrauchers oder -Erzeugers als Summe zweier Wechselstromleistungen darstellen läßt, die sich aus zwei Netzströmen und den zugehörigen verketteten Spannungen ergeben. Die Messung der Leistung eines Drehstrom-Dreileiter-Systems muß also auch ganz allgemein mit zwei Leistungsmessern möglich sein, wobei es ganz gleichgültig ist, ob

Stern= oder Dreieckschaltung vorliegt Die zur Messung verwendeten Leistungsmesser konnen naturlich den einzelnen Impulsen der Momentanleistungen nicht folgen, sondern stellen sich auf einen mittleren Wert, die mittlere Leistung, ein Die mittlere Leistung ergibt sich aus den Ausschlagen α_1 und α_2 der beiden Leistungsmesser

$$P = C \quad c \quad (\alpha_1 + \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

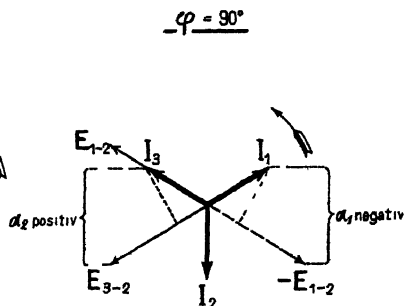
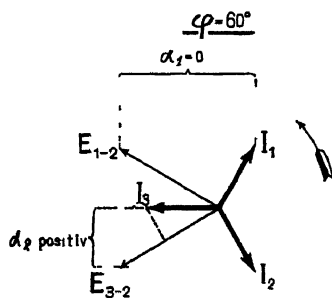
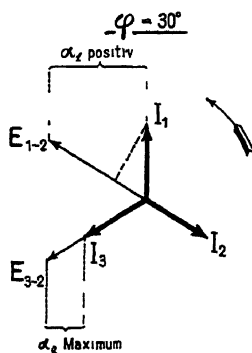
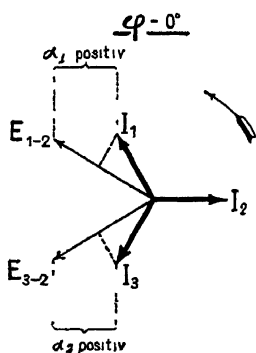
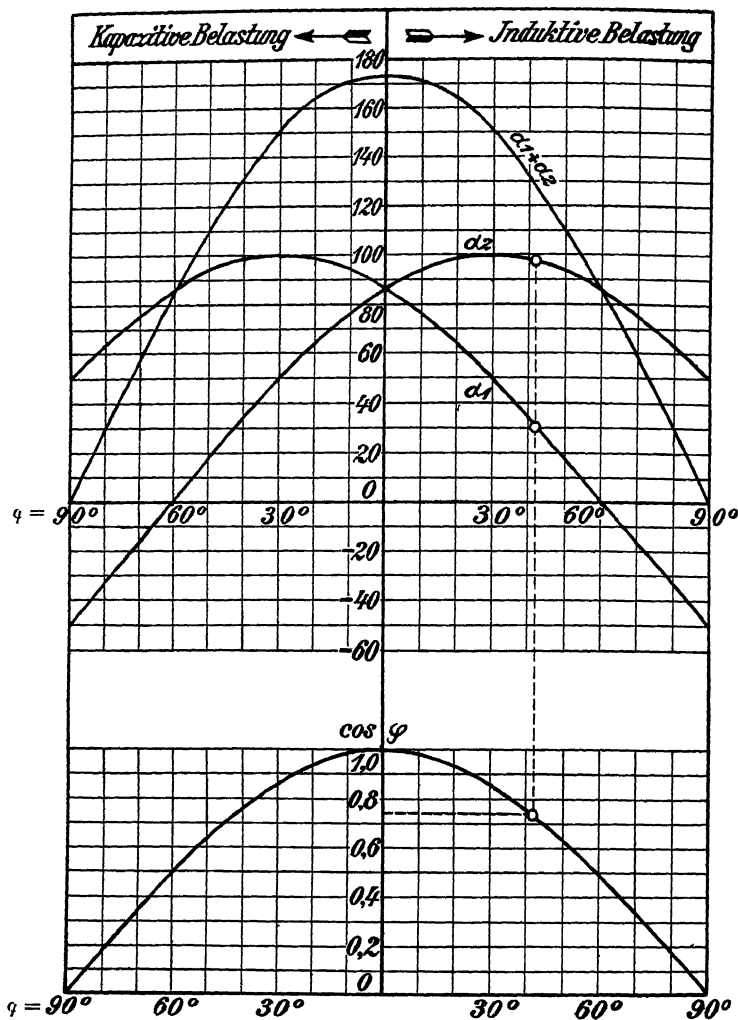
Da bei der Zwei=Leistungsmesser=Methode Phasenstrom und verkettete Spannung gemessen werden, sind bei dem Leistungsfaktor 1 des Drehstrom=Systems Strom und gemessene Spannung um 30⁰ verschoben Die Instrumente zeigen daher bei vollem Strom, voller Spannung und bei $\cos\varphi = 1$ nur 0,866 des maximalen Ausschlages Aus dem obenstehenden Diagramm, das allerdings nur fur gleiche Belastung der drei Zweige gilt, geht weiter hervor, daß bei einem Netzleistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}866$ (entsprechend einer Phasenverschiebung von $\varphi = 30^0$ zwischen Phasenstrom und Phasenspannung) der eine Leistungsmesser seinen maximalen Ausschlag zeigt, wahrend der andere entsprechend einer tatsachlichen Verschiebung von 60^0 nur den halben Ausschlag gibt

Bei einem Netzleistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}5$, also $\varphi = 60^0$, zeigt der eine Leistungsmesser, entsprechend einer tatsachlichen Phasenverschiebung von 30^0 zwischen gemessenem Strom und gemessener Spannung, wieder 0,866 des vollen Ausschlags, wahrend der andere entsprechend einer Phasenverschiebung von $60^0 + 30^0 = 90^0$ den Ausschlag Null gibt Bei noch großerer Phasenverschiebung gibt der eine Leistungsmesser negativen Ausschlag, d h die eine Leistung wird negativ Man muß daher bei der Messung den Spannungskreis des Leistungsmessers wenden, um einen Ausschlag in die Skala hinein zu erhalten Die Gesamtleistung ergibt sich jetzt als Differenz der beiden gemessenen Leistungen

$$P = C \cdot c \quad (\alpha_1 - \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Die Schaulinien auf Seite 178 zeigen, wie sich die Ausschlage der beiden Leistungsmesser und die Gesamtleistung des Drehstrom=Systems andern, wenn man unter Konstanthalten von Strom und

Vektordiagramme

uber das Verhalten der Leistungsmesser
bei der
Zwei=Leistungsmesser=Methode

Schaulinien über das Verhalten der Leistungsmesser
bei der Zwei-Leistungsmesser-Methode

Spannung die Phasenverschiebung des Netzes von 0 bis 90° Voreilung bzw Nacheilung andert Um wahrend der Messung in jedem Augenblick Klarheit zu haben, ob die Ausschlage der beiden Leistungsmesser zu addieren oder voneinander zu subtrahieren sind, kann man folgende Regel beachten

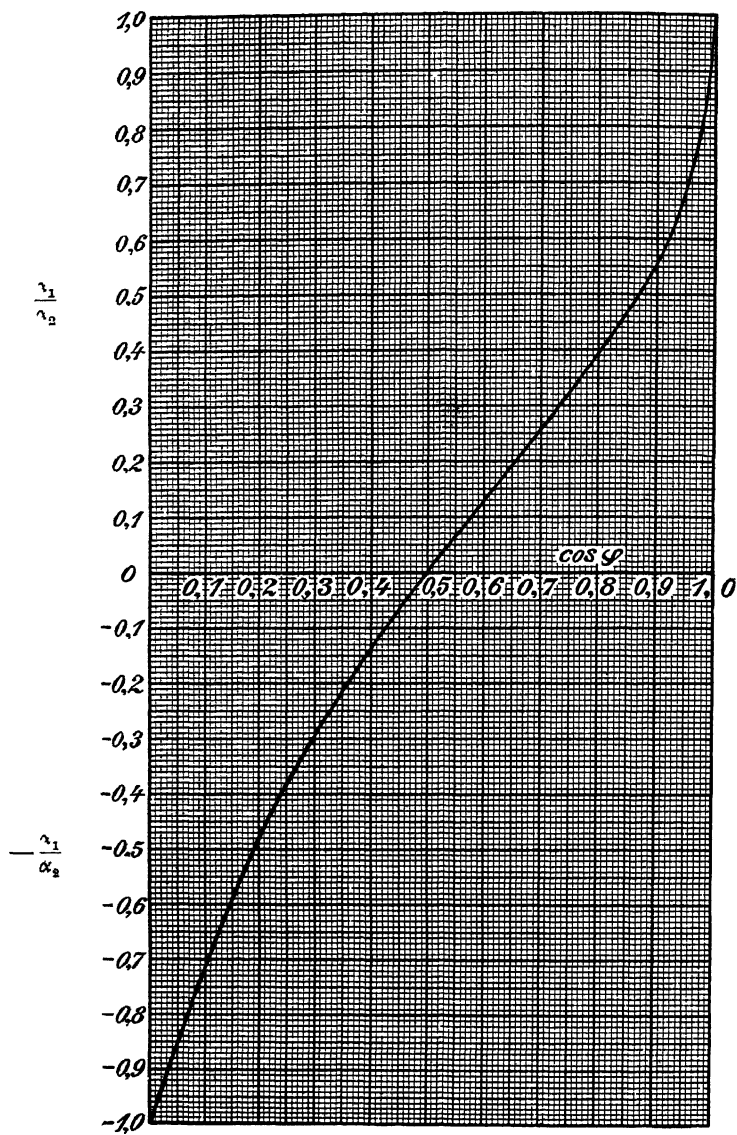
Bei vollkommen symmetrischer Schaltung der beiden Leistungsmesser sind die Ausschlage zusammenzuzahlen, wenn man an beiden Instrumenten gleichgerichtete Ausschlage (in die Skala hinein) erhalt Muß man dagegen an dem einen Leistungsmesser die Spannung wenden, um einen Ausschlag in die Skala hinein zu erhalten, so ist der kleinere Ausschlag von dem großeren abzuziehen

Bei dieser Regel ist vorausgesetzt, daß die Leistungsmesser vollkommen gleichartig gebaut sind, so daß sie bei gleichsinnigem Anschluß und gleicher Stellung der etwa eingebauten Spannungswender stets einen gleichsinnigen Ausschlag geben Diese Voraussetzung trifft bei allen neueren Prazisions-Leistungsmessern der Siemens & Halske A.-G. zu

b) Bestimmung des mittleren Leistungsfaktors

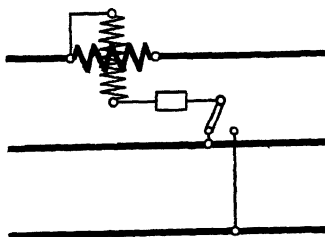
Der Begriff des mittleren Leistungsfaktors eines Drehstrom-Systems hat naturgemaß nur dann eine physikalische Bedeutung, wenn die drei Phasen annahernd gleichmaßig belastet sind Zur Bestimmung des mittleren Leistungsfaktors muß man außer der Leistung noch die Strome und die Spannungen messen Streng genommen sind hierzu 3 Strommesser und 3 Spannungsmesser erforderlich Bei reiner Motorenbelastung sind indessen die drei Strome annahernd gleich groß Man begnugt sich daher, der einfacheren Schaltung wegen, zumeist mit der Messung nur zweier Strome und zweier Spannungen Sind die beiden gemessenen Strome annahernd gleich groß, so muß bei reiner Motorenbelastung auch der dritte Strom annahernd die gleiche Große haben Sind also außer der Leistung P zwei Strome I_1 und I_2 sowie zwei verkettete Spannungen E_1 und E_2 gemessen, so ergibt sich der mittlere Leistungsfaktor aus der Leistung und den Mittelwerten der abgelesenen Strome und Spannungen

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot E_{\text{mittel}} \cdot I_{\text{mittel}}}$$

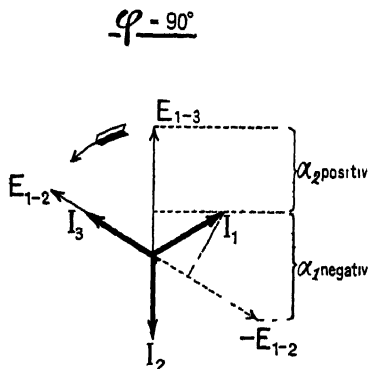
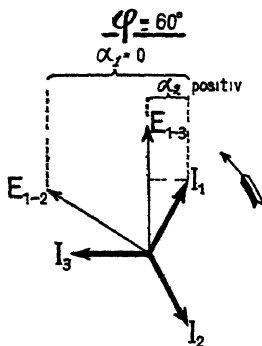
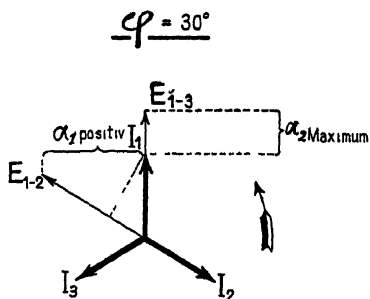
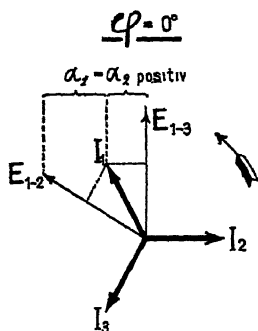
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1
-0,2
-0,3
-0,4
-0,5
-0,6
-0,7
-0,8
-0,9
-1,0
$\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$
$-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$
cos φ
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0

Man kann den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ auch ohne Strom- und Spannungsmessungen direkt aus den Zeigerausschlagen der beiden Leistungsmesser bestimmen. Aus dem Kurvenbilde auf Seite 178 geht hervor, daß bei annahernd gleicher Belastung der drei Phasen jedem Netzleistungsfaktor ein bestimmtes Verhaltnis der Zeigerausschlage α_1 und α_2 entspricht. Man kann daher die Verhaltniswerte $\alpha_1 : \alpha_2$ direkt als Funktion des Netzleistungsfaktors auftragen, wie dies auf dem Kurvenblatt auf Seite 180 ausgefuhrt ist. Bildet man nun bei einer beliebigen Messung das Verhaltnis des kleineren Zeigerausschlages des Leistungsmessers zum großeren unter Berucksichtigung der Vorzeichen, so kann man fur diesen Wert $\alpha_1 : \alpha_2$ aus der nebenstehenden Kurve den Leistungsfaktor unmittelbar entnehmen. Die obere Halfte der Kurve ist zu benutzen, wenn man bei beiden Messungen gleichgerichtete Ausschlage erhalten hat, wahrend die untere Halfte dann gilt, wenn bei einer der beiden Messungen der Strom im Spannungskreis des Leistungsmessers hat gewendet werden mussen, um einen Ausschlag in die Skala hinein zu erhalten. Hat man das Kurvenblatt nicht zur Hand, so kann man sich den Leistungsfaktor aus der Beziehung

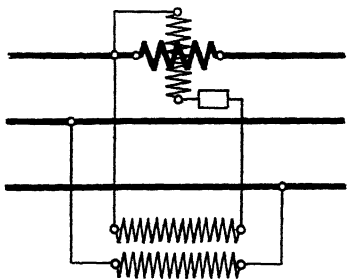
$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{3} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

berechnen, wobei α_1 den großeren und α_2 den kleineren Ausschlag des Leistungsmessers bedeutet.

Die vorstehende Methode zur direkten Bestimmung des Leistungsfaktors laßt sich auch mit einem Leistungsmesser ausfuhren, dessen Spannungskreis man mit Hilfe eines Umschalters nacheinander an die

beiden anderen Leitungen legt. Man liest dann die bei den beiden Schalterstellungen auftretenden Zeigerausschlage α_1 und α_2 ab, bildet

Vektordiagramme

uber das Verhalten des Leistungsmessers
bei der Schaltung zur
direkten Bestimmung des Leistungsfaktors
(vgl Seite 45)

wieder das Verhaltnis α_1 α_2 und entnimmt den Leistungsfaktor cos φ dem Kurvenbilde Die Richtigkeit dieser Schaltung folgt ohne weiteres aus dem Vergleich der nebenstehenden Diagramme mit den auf Seite 177 angegebenen

Handelt es sich nur darum, qualitativ festzustellen, ob eine Phasenverschiebung vorhanden ist und in welchem Sinne sie wirkt (z B bei Synchronmotoren), so schaltet man die Stromspule des Leistungsmessers in eine Phase und legt den Spannungskreis an die beiden anderen Phasen Die gemessene Spannung ist dann um 90° gegen den Strom verschoben, d h der Leistungsmesser gibt bei einem Leistungsfaktor 1 des Netzes, also bei $\varphi = 0$, keinen Ausschlag Je nach dem Sinne der im Netz wirkenden Phasenverschiebung schlagt der Leistungsmesser nach rechts oder nach links aus Die Große des Zeigerausschlages ist hierbei durch die Funktion $E \cdot I$ sin φ gegeben Um ein Überschlagen der Spannung zwischen Strom- und Spannungsspule des Leistungsmessers zu vermeiden, ist es erforderlich, bei dieser Schaltung einen Spannungswandler zu verwenden

Alle die vorstehend genannten Methoden zur Bestimmung der mittleren Phasenverschiebung sind nur anwendbar, wenn die Belastung der drei Phasen annahernd gleich groß ist, wie dies bei Motoren zumeist der Fall ist Treten bei einer Messung erhebliche Verschiedenheiten der drei Phasenbelastungen auf, d h sind die gemessenen Strome erheblich voneinander verschieden, so verliert der Begriff eines mittleren Leistungsfaktors seine physikalische Bedeutung Da eine bestimmte Definition fur diesen jetzt rein rechnerischen Begriff zurzeit noch nicht vorliegt, soll auch hier nicht naher auf seine Bestimmung eingegangen werden Es sei nur darauf hingewiesen, daß es in diesem Falle ratsam ist, die Leistungsfaktoren der drei Phasen einzeln zu bestimmen Bei vorhandenem Nullpunkt des Drehstrom-Systems ist dies mit Hilfe der Drei-Leistungsmesser-Methode leicht moglich (vgl Seite 202)

c) Schaltungen für direkte Messungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode

Bei der direkten Messung nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode ergibt sich die Leistung unmittelbar aus den Angaben der beiden Leistungsmesser (vgl. Seite 38 bzw. 78). **Die gemessene Leistung** beträgt demnach

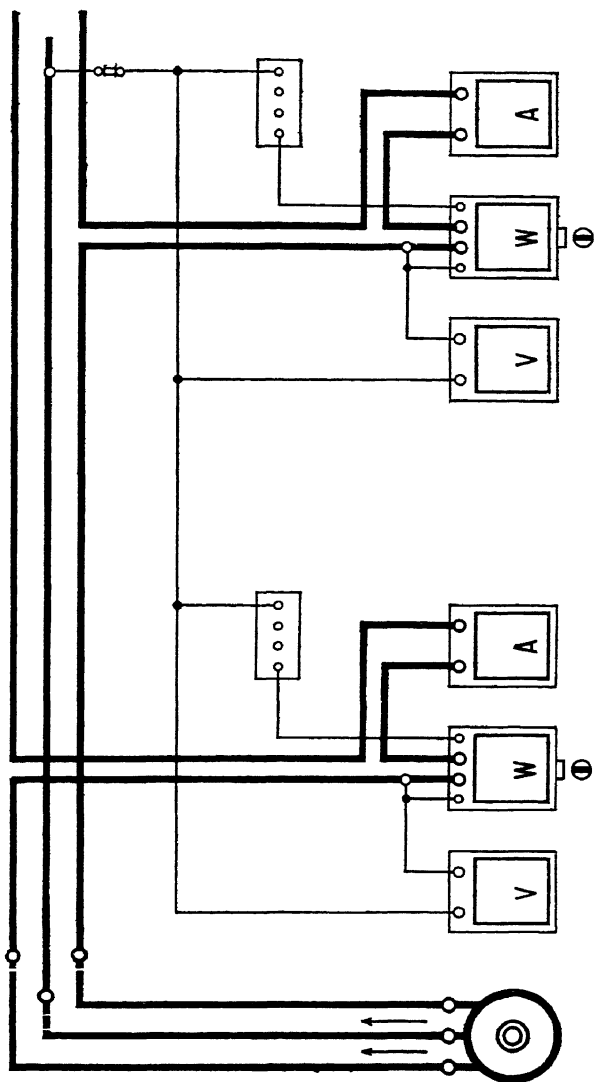
$$P = C \cdot c \cdot (\alpha_1 \pm \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Aus den Mittelwerten der abgelesenen Ströme und Spannungen folgt bei nahezu gleicher Strombelastung **der mittlere Leistungsfaktor** (vgl. Seite 179)

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot E_{mittel} \cdot I_{mittel}}$$

Für die Berechnung der durch den **Eigenverbrauch der Meßinstrumente** verursachten Fehler gilt das gleiche, was auf Seite 161 bis 163 für direkte Einphasenstrom-Leistungsmessungen entwickelt worden ist. Da zwei Sätze gleicher Instrumente vorhanden sind, ist auch der Eigenverbrauch für beide Instrumentsätze in Rechnung zu ziehen. Man wird jedoch in den weitaus meisten Fällen von einer Korrektion absehen können, wenn man die Schaltung so wählt, daß die kleinsten Fehler auftreten.

Eine **vollständige Meßschaltung** für direkte Messungen ist auf Seite 185 abgebildet. Bei dieser Schaltung sind die Schaltregeln (vgl. Seite 35 bzw. 76) in gleicher Weise berücksichtigt, wie es auf Seite 159 ausführlich beschrieben ist. Wird die Schaltung genau nach dem Schaltbild ausgeführt, so folgt aus der Stellung der eingebauten Spannungswender ohne weiteres, ob die Zeigerausschläge α_1 und α_2 der beiden Leistungsmesser zu addieren bzw. zu subtrahieren sind.

Eine **Meßschaltung mit Stromumschalter** ist auf Seite 186 angegeben. Bei dieser wird der Leistungsmesser mit Hilfe des auf Seite 151 beschriebenen Stromumschalters aus einer Leitung in die andere umgeschaltet. Die beiden Messungen, die bei der vollständigen Meßschaltung gleichzeitig ausgeführt werden, werden hierbei nacheinander mit einem Satz von Instrumenten vorgenommen. Hieraus folgt für die Anwendung der Schaltung die Bedingung, daß sich die Belastung in der Zeit zwischen den beiden Messungen nicht ändert. Man überzeugt sich hiervon durch Wiederholung der ersten Messung am Schlusse jeder Meßreihe.

Die Ausschläge der Leistungsmesser sind zu addieren, wenn die beiden Spannungswender in gleicher Stellung stehen
Die Ausschläge sind zu subtrahieren, wenn die beiden Spannungswender in verschiedener Stellung stehen

Normale Meßschaltung für direkte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode

Die Ausschläge des Leistungsmessers sind zu addieren, wenn man bei beiden Stellungen des *Stromumschalters S* ohne Betätigung des Spannungswenders einen richtigen Ausschlag erhält. Muß man jedoch bei e i n e r der beiden Messungen den Spannungsstrom des Leistungsmessers wenden, so ist der kleinere Ausschlag vom größeren abzuziehen

Schaltung für direkte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode mit Stromumschalter

d) Schaltungen fur indirekte Messungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode

Bei der indirekten Leistungsmessung mit Strom- und Spannungswandlern sind die Angaben der beiden Leistungsmesser (vgl Seite 61 bzw 77) noch mit den Übersetzungen der Meßwandler (vgl Seite 128 und 140) zu multiplizieren **Die gemessene Leistung** betragt demnach

$$P = \frac{I}{5} \cdot \frac{E}{100} \cdot c \cdot (\alpha_1 \pm \alpha_2) \qquad \textbf{Watt.}$$

Aus den Mittelwerten der abgelesenen Strome und Spannungen folgt bei nahezu gleicher Strombelastung **der mittlere Leistungsfaktor** (vgl Seite 179)

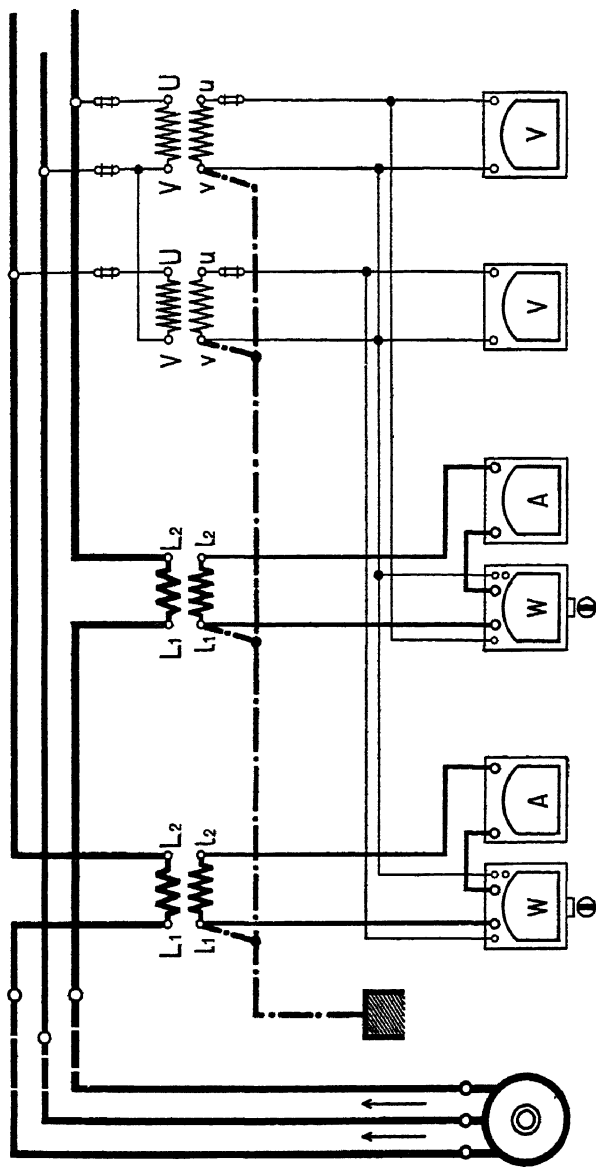
$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot E_{mittel} \cdot I_{mittel}}$$

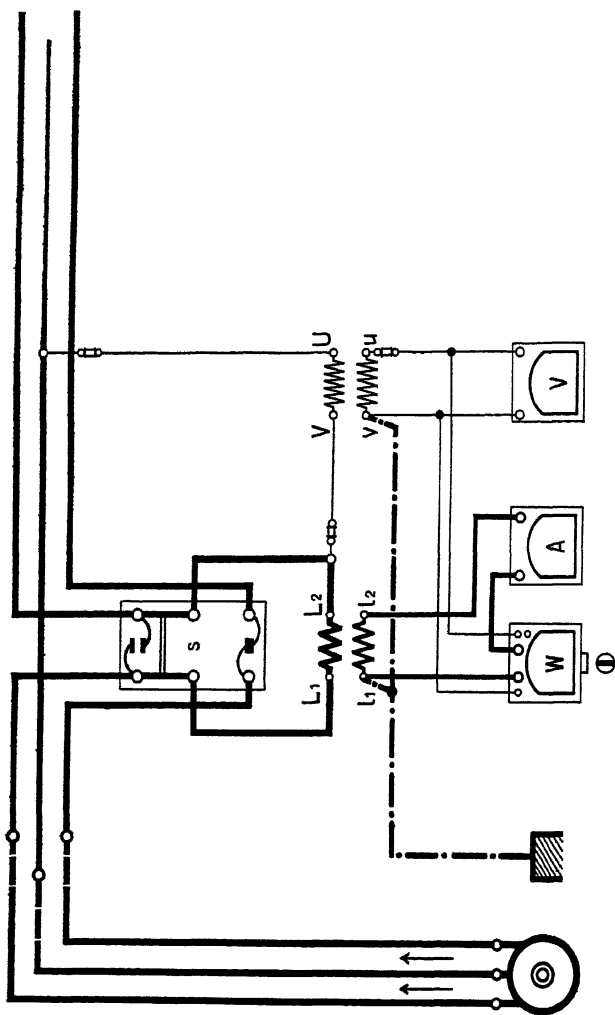
Bei besonders genauen Messungen ist noch **der Eigenverbrauch der Meßschaltung** zu berucksichtigen Die Art dieser Berechnung ergibt sich ohne weiteres aus den Angaben auf Seite 166 Da es sich im vorliegenden Falle um zwei vollstandig gleiche Instrumentsatze handelt, genugt es, die Rechnung fur einen Satz durchzufuhren und das Ergebnis mit 2 zu multiplizieren In den meisten Fallen wird man jedoch von einer Korrektion der gemessenen Werte ganz absehen konnen, wenn man die Schaltung so wahlt, daß die kleinsten Fehler auftreten Die Berucksichtigung der Phasenverschiebungs- und Übersetzungsfehler der Stromwandler ist in einem besonderen Abschnitt auf Seite 200 ausfuhrlich behandelt Eine Korrektion der Angaben der Spannungswandler ist nicht erforderlich

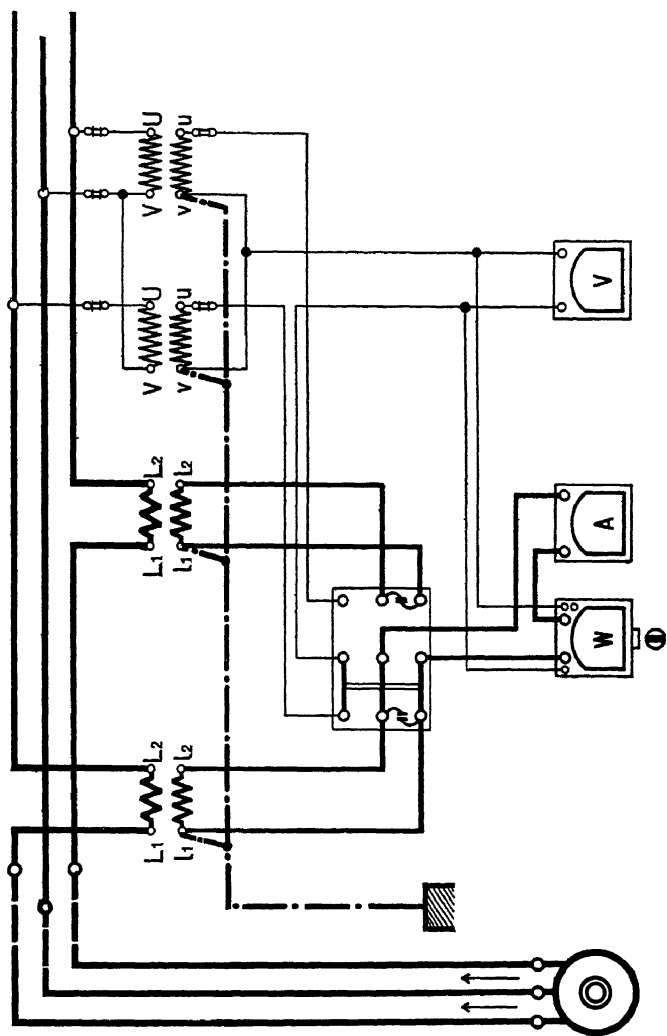
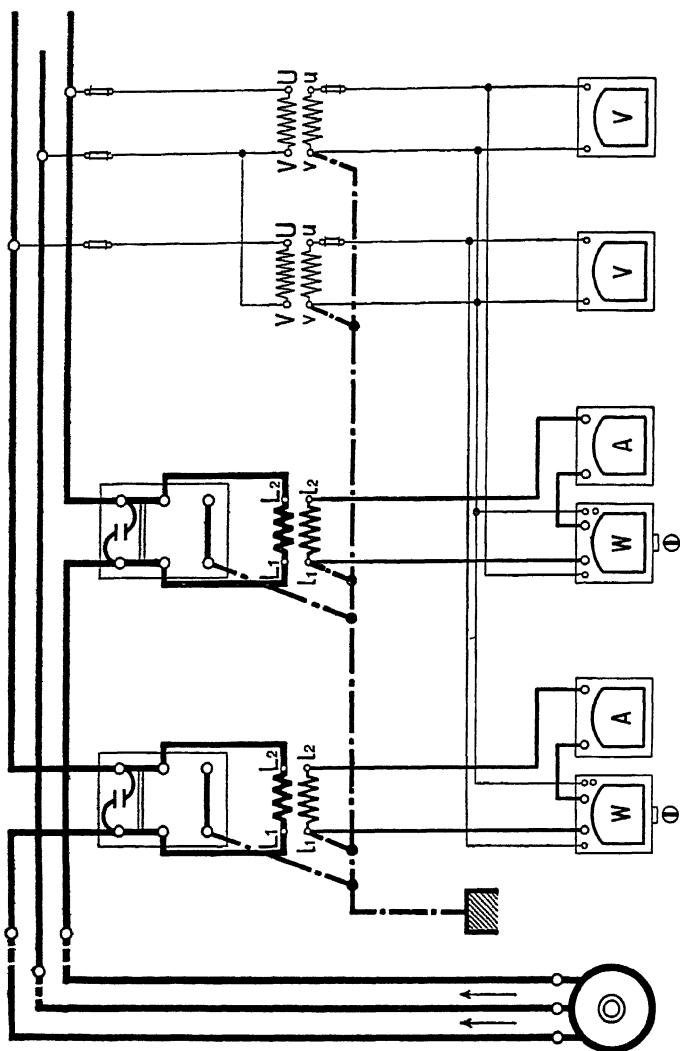
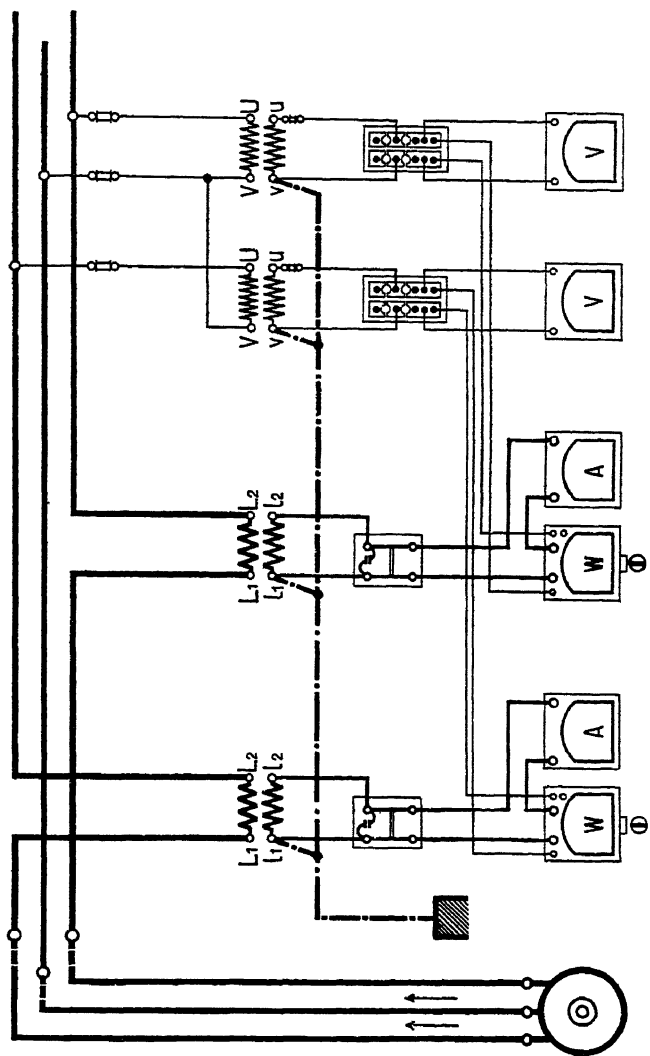
Eine **vollstandige Meßschaltung** fur indirekte Messungen ist auf Seite 189 abgebildet Bei dieser Schaltung sind die Schaltregeln (vgl Seite 59 bzw 76 sowie Seite 119) in der gleichen Weise berucksichtigt, wie es auf Seite 169 ausfuhrlich beschrieben ist Wird die Schaltung genau nach dem Schaltbild ausgefuhrt, so folgt aus der Stellung der eingebauten Spannungswender ohne weiteres, ob die Zeigerausschlage α_1 und α_2 der beiden Leistungsmesser zu addieren oder zu substrahieren sind

Die entsprechenden **Meßschaltungen mit Stromumschalter** sind auf Seite 190 und 191 angegeben Bei diesen Schaltungen werden die beiden Messungen, die bei der vollstandigen Schaltung gleichzeitig ausgefuhrt werden, nacheinander vorgenommen Hieraus ergibt sich fur die Anwendung dieser Schaltungen die Bedingung, daß sich die zu messende Belastung in der Zeit zwischen den beiden Messungen nicht

andert Es wird demnach eine sehr gleichmaßige Belastung vorausgesetzt Die fur die Ausfuhrung der Schaltungen erforderlichen Stromumschalter sind auf Seite 151 beschrieben Die auf Seite 190 angegebene **Umschaltung auf der Hochspannungsseite** ergibt die billigste Meßanordnung, da nur ein Satz Instrumente und je ein Strom⸗ und ein Spannungswandler erforderlich sind Es besteht jedoch hierbei der Nachteil, daß der zu bedienende Schalter direkt an der Hochspannung liegt Dieser Nachteil wird durch die **Umschaltung auf der Niederspannungsseite,** die im Schaltbild auf der Seite 191 angegeben ist, vermieden Fur diese Schaltung sind allerdings zwei Strom⸗ und zwei Spannungswandler erforderlich, so daß die Meßschaltung etwas teurer wird Dies sollte man aber fur den Vorteil der ungefahrlichen Bedienung in Kauf nehmen Die Erdung kann bei dieser Schaltung in der normalen Weise ausgefuhrt werden, wenn man die fur die beiden Stellungen des Stromumschalters notwendige Umschaltung der Spannungsleitungen durch einen besonderen Spannungsumschalter vornimmt Da die Schaltstellungen des Stromumschalters und des Spannungsumschalters einander stets entsprechen, kuppelt man zweckmaßig die Hebel der beiden Schalter, wie das bei dem dreipoligen Stromumschalter der Siemens & Halske A⸗G ausgefuhrt ist Die Schaltung wird bei Verwendung dieses Schalters sehr ubersichtlich und ermoglicht ein sehr bequemes und gefahrloses Arbeiten

Die Schaltbilder auf Seite 192 und 193 zeigen die **Anwendung der Abschalter** Die Abschaltung auf der Hochspannungsseite ist dann erforderlich, wenn man die Meßwandler ohne Betriebsunterbrechung auf einen anderen Meßbereich umschalten will Fur die Abschaltung der Stromwandler werden zweckmaßig die auf Seite 155 beschriebenen Erdungsabschalter benutzt Die Spannungswandler kann man, falls nicht in der Anlage vorhandene Trennschalter benutzt werden sollen, durch Herausziehen der Hochspannungssicherungen spannungslos machen Dies muß naturlich mit Hilfe einer Isolierzange und mit entsprechender Vorsicht geschehen Die auf Seite 193 angegebene Abschaltung auf der Niederspannungsseite ermoglicht es, die Meßinstrumente wahrend langerer Meßpausen von den Meßwandlern abzuschalten Durch die Stromabschalter wird hierbei eine Unterbrechung des Sekundarkreises des Stromwandlers, die zu einer Beschadigung des Wandlers fuhren wurde, sicher vermieden Die Spannungsabschalter ermoglichen es, die Spannungskreise etwa eingeschalteter weiterer Meßgerate von den Spannungswandlern beliebig abzutrennen (vgl auch Seite 157)

Die Ausschläge der Leistungsmesser sind zu addieren, wenn die beiden Spannungswender in gleicher Stellung stehen
Die Ausschläge sind zu subtrahieren, wenn die Spannungswender in verschiedener Stellung stehen

Normale Schaltung für indirekte Drehstrom=Leistungsmessungen nach der Zwei=Leistungsmesser=Methode

Die bei den beiden Stellungen des Stromumschalters *S* erhaltenen Ausschläge des Leistungsmessers sind zu addieren, wenn man bei den beiden Messungen gleichgerichtete Ausschläge erhält. Muß man dagegen bei **einer** der beiden Messungen den Spannungsstrom des Leistungsmessers wenden, so ist der kleinere Ausschlag vom größeren zu subtrahieren

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Stromumschalter auf der Hochspannungsseite

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Stromumschalter auf der Niederspannungsseite

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Erdungs-Abschaltern auf der Hochspannungsseite

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Abschaltern auf der Niederspannungsseite

e) Schaltungen fur halbindirekte Messungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode

Bei der halbindirekten Leistungsmessung mit Stromwandlern als Strommeßbereichwahlern und Vorschaltwiderstanden fur die Spannungskreise der Leistungsmesser sind die Angaben der beiden Leistungsmesser (vgl Seite 63 bezw 78) noch mit der Übersetzung der Stromwandler zu multiplizieren (vgl Seite 128) **Die gemessene Leistung** betragt also

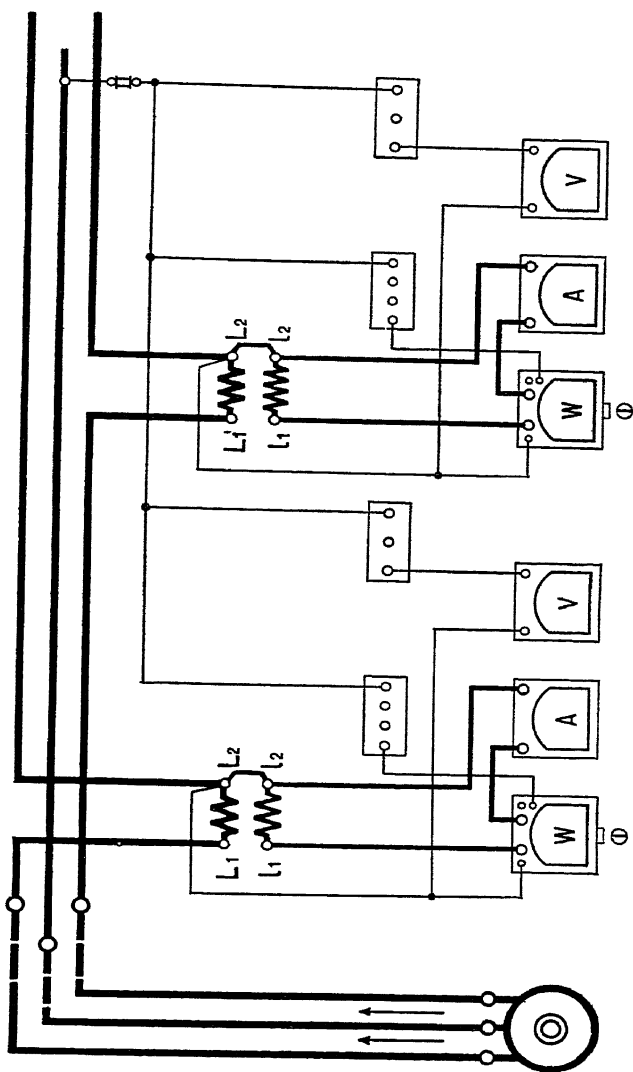
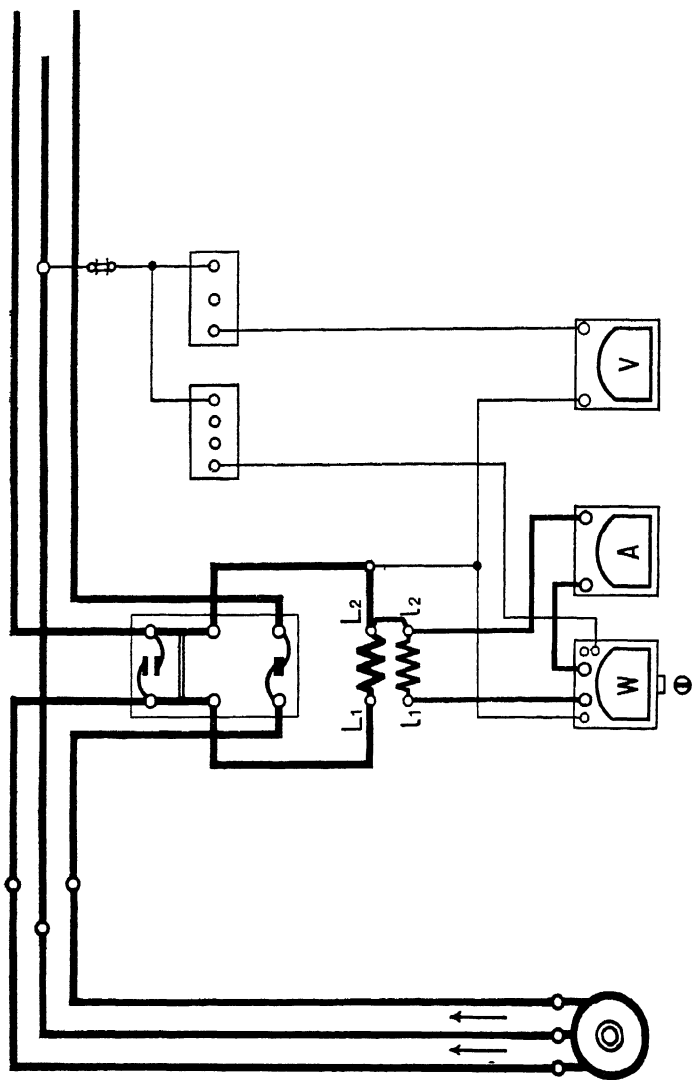
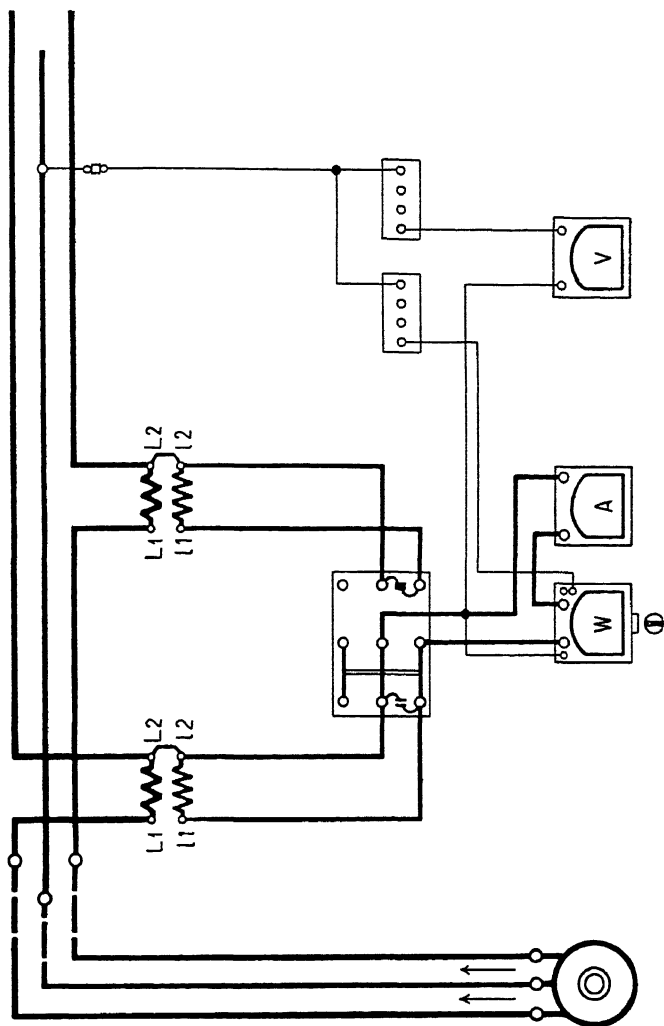
$$P = \frac{I}{5} \quad C \quad c \cdot (\alpha_1 \pm \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Aus den Mittelwerten der gemessenen Strome und Spannungen folgt bei nahezu gleicher Strombelastung **der mittlere Leistungsfaktor** (vgl Seite 179)

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \quad E_{\text{mittel}} \quad I_{\text{mittel}}}$$

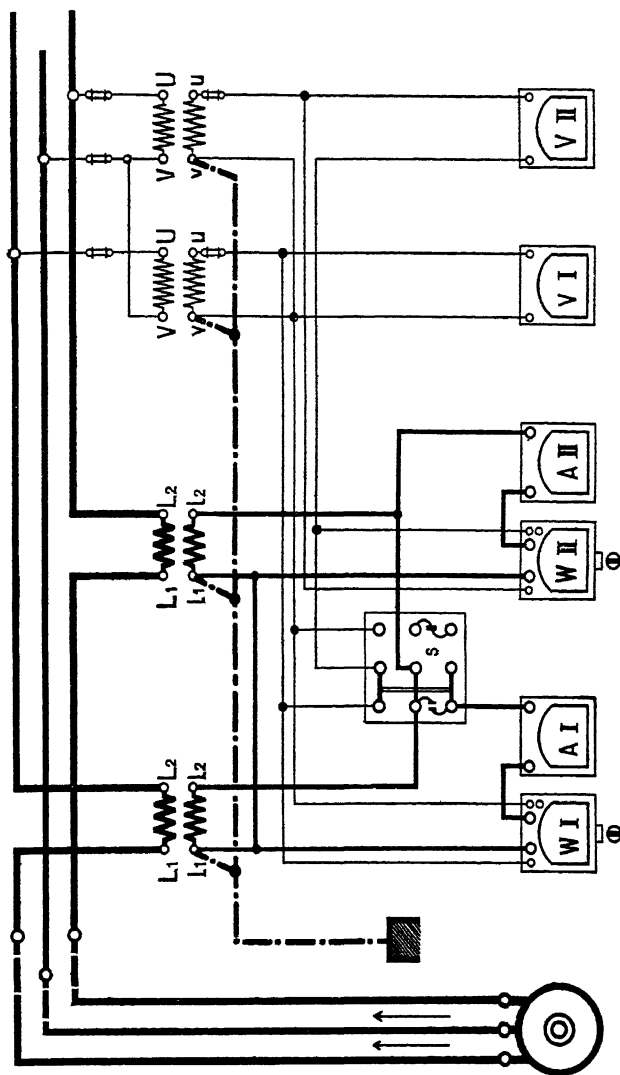
Bei besonders genauen Messungen sind die abgelesenen Werte noch zu korrigieren Der **Eigenverbrauch der Meßschaltung** ergibt sich in entsprechender Weise aus den Entwickelungen auf Seite 170 Die Phasenverschiebungs- und Ubersetzungsfehler der Stromwandler sind auf Seite 200 ausfuhrlich behandelt

Eine **vollstandige Meßschaltung** fur halbindirekte Messungen ist auf Seite 195 angegeben Bei dieser Schaltung sind die Schaltregeln (vgl Seite 59 bzw 76 und 119) in der gleichen Weise berucksichtigt, wie es auf Seite 169 ausfuhrlich beschrieben ist Wird die Schaltung genau nach dem Schaltbild ausgefuhrt, so folgt aus der Stellung der eingebauten Spannungswender ohne weiteres, ob die Zeigerausschlage α_1 und α_2 der beiden Leistungsmesser zu addieren oder zu subtrahieren sind

Die entsprechenden **Schaltungen mit Stromumschaltern** sind auf Seite 196 und 197 angegeben Fur die Anwendung dieser Schaltungen gelten die im vorhergehenden Abschnitt angefuhrten Voraussetzungen Die Umschaltung auf der Primarseite erfordert nur einen Stromwandler, aber einen fur den vollen Primarstrom bemessenen Umschalter Da dieser Umschalter nur fur Stromstarken bis 600 Ampere ausgefuhrt wird, ist fur erweiterungsfahige Meßeinrichtungen die Umschaltung auf der Sekundarseite vorzuziehen Diese ermoglicht auch ohne weiteres den Übergang zu Hochspannungsmessungen mit Strom- und Spannungswandlern

Schaltung für halbindirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Stromwandlern als Meßbereichwähler

Schaltung für halbindirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Stromwandler als Meßbereichwähler und Stromumschalter auf der Primärseite

Schaltung für halbindirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit Stromwandlern als Meßbereichwähler und Stromumschalter auf der Sekundärseite

f) Messung des dritten Stromes und der dritten Spannung

Ergibt sich bei einer Prufung nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode eine erhebliche Verschiedenheit dei beiden gemessenen Strome, so kann man hieraus nicht ohne weiteres auf die Große des dritten Stromes schließen In diesem Falle ist zur naheren Untersuchung der vorhandenen Unsymmetrie eine **Messung des dritten Stromes** wunschenswert Bei der direkten Messung wird man hierzu einfach drei Strommesser verwenden Bei der indirekten Messung wird man jedoch einen dritten Stromwandler wegen der erhohten Kosten dei Meßeinrichtung gern vermeiden Die Messung des dritten Stromes ist auch mit den vorhandenen zwei Stromwandlern bei entsprechender Schaltung ohne Schwierigkeiten moglich Da der dritte Strom stets die geometrische Summe der beiden anderen Strome ist, braucht man nur die Sekundarseiten der beiden Stromwandler im richtigen Sinne parallel zu schalten Bei der Umschaltung ist jedoch streng darauf zu achten, daß keine Unterbrechung der Sekundarwickelungen der Stromwandler erfolgt Man fuhrt daher diese Umschaltung zweckmaßig mit einem Stromabschalter (vgl Seite 155) aus Die selbsttatige Kurzschlußvorrichtung des Schalters dient hierbei dazu, nach erfolgter Parallelschaltung der Sekundarwickelungen der Stromwandler den einen Instrumentsatz (im Schaltbild auf der linken Seite) abzutrennen, so daß der Strommesser des zweiten Instrumentsatzes den dritten Strom anzeigt

Sind die drei Strome verschieden, so ist auch zu erwarten, daß die drei Spannungen verschieden groß sind Zur **Messung der dritten Spannung** verwendet man bei der direkten Messung einen dritten Spannungsmesser Bei der indirekten Messung kann man mit zwei Spannungswandlern auskommen und die dritte Spannung als geometrische Summe der beiden anderen Spannungen messen Da die beiden Spannungswandler in *V*-Schaltung liegen, ist es nur erforderlich, den Spannungsmesser an die beiden freien Enden (*u*) der *V*-Schaltung zu legen Man kann hierzu einen beliebigen Umschalthebel mit Stromunterbrechung benutzen In dem nebenstehenden Schaltbild werden die Umschaltungen zur Messung von drittem Strom und dritter Spannung gleichzeitig vorgenommen Es wird hierzu ein normaler dreipoliger Stromumschalter (vgl Seite 155) verwendet

Umschalter nach rechts Normale Schaltung nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode Umschalter nach links Strommesser *A II* zeigt den dritten Strom Spannungsmesser *V II* zeigt die dritte Spannung Der Ausschlag des Leistungsmessers *W II* gibt ein Maß für die herrschende Phasenverschiebung (bei cos $\varphi = 1$, Ausschlag 0) vgl Seite 183

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Zwei-Leistungsmesser-Methode, mit dreipoligem Stromumschalter zur Messung des dritten Stromes und der dritten Spannung

g) Berucksichtigung der Fehler der Meßwandler

Die Berucksichtigung der **Phasenverschiebungs- und Ubersetzungsfehler der Stromwandler** bietet bei der Zwei-Leistungsmesser-Methode Schwierigkeiten, da die den Stromwandlern beigegebenen Korrektionskurven nicht ohne weiteres verwendet werden konnen Um die Fehler aus den Kurven entnehmen zu konnen, muß man zunachst die Große und die Richtung der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in jedem der beiden Leistungsmesser einzeln bestimmen Hierzu wird in den meisten Fallen die Aufzeichnung eines Diagrammes erforderlich sein Hat man auf diese Weise die Leistungsfaktoren fur die beiden Ausschlage α_1 und α_2 der beiden Leistungsmesser gefunden, so kann man aus den diesen Leistungsfaktoren entsprechenden Korrektionskurven fur die entsprechenden Strombelastungen die Korrektionsfaktoren f_1 und f_2 entnehmen Die Leistung wird dann

$$P = \frac{I}{5} \, \frac{E}{100} \, c \, (\alpha_1 \, f_1 \pm \alpha_2 \, f_2)$$

Bei **annahernd gleichmaßiger Belastung** der drei Phasen des Drehstrom-Systems kann man einen Korrektionsfaktor f_D fur Drehstrom vorausberechnen, der ohne weiteres fur die Summe bzw Differenz der beiden Ausschlage gilt

$$\alpha_1 \, f_1 + \alpha_2 \, f_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) \, f_D$$

$$f_D = \frac{\alpha_1 \, f_1 + \alpha_2 \, f_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Die **Berechnung dieses Korrektionsfaktors** f_D kann unabhangig von dem tatsachlichen Werte der beiden Ausschlage α_1 und α_2 vorgenommen werden Da das Verhaltnis der beiden Leistungsmesser-Ausschlage fur jeden Netzleistungsfaktor $\cos \varphi$ bekannt ist, kann man entsprechende Proportionalitatswerte fur α_1 und α_2 in die Rechnung einfuhren, die man fur jeden Netzleistungsfaktor aus dem Kurvenbilde auf Seite 178 entnehmen kann Diese Werte sind in der folgenden Tabelle angegeben und konnen ohne weiteres fur alle Strombelastungen unverandert in die Rechnung eingesetzt werden Die diesen Ausschlagen entsprechenden Leistungsfaktoren an den beiden Leistungmessern sind ebenfalls aus der Tabelle zu entnehmen (vgl Seite 177) Aus den diesen Leistungsfaktoren entsprechenden Korrektionskurven der Stromwandler entnimmt man fur die vorliegende Strombelastung die zugehorigen Korrektionsfaktoren f_1 und f_2 und setzt sie in die obige Gleichung zur Berechnung von f_D ein

Netzleistungsfaktor $\cos\varphi$ mittel	Leistungsmesser-Ausschlage α_1	α_2	f_1 ist zu entnehmen aus Kurve fur		f_2 ist zu entnehmen aus Kurve fur	
$\cos\varphi = 1$	86,6	86,6	$\cos\varphi_1 = 0{,}866$	N	$\cos\varphi_2 = 0{,}866$	V
$= 0{,}9$	56,2	99,7	$= 0{,}562$	N	$= 0{,}997$	V
$= 0{,}8$	39,3	99,3	$= 0{,}393$	N	$= 0{,}993$	N
$= 0{,}7$	25,0	96,4	$= 0{,}250$	N	$= 0{,}964$	N
$= 0{,}6$	11,9	91,9	$= 0{,}119$	N	$= 0{,}919$	N
$= 0{,}5$	0	86,6	—	—	$= 0{,}866$	N
$= 0{,}4$	−11,3	80,4	$= 0{,}113$	V	$= 0{,}804$	N
$= 0{,}3$	−21,6	73,7	$= 0{,}216$	V	$= 0{,}737$	N
$= 0{,}2$	−31,7	66,3	$= 0{,}317$	V	$= 0{,}663$	N
$= 0{,}1$	−41,2	57,8	$= 0{,}412$	V	$= 0{,}578$	N

V = Kurven fur voreilenden Strom, N = Kurven fur nacheilenden Strom

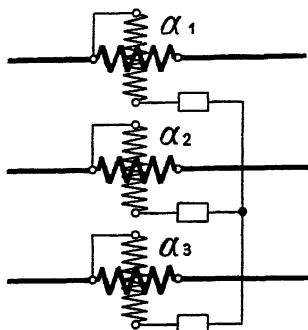
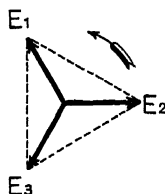
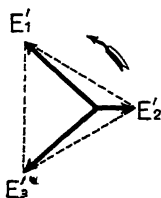
Fuhrt man diese Rechnung fur einen bestimmten Netzleistungsfaktor $\cos\varphi_{\text{mittel}}$ bei verschiedenen Strombelastungen der Stromwandler aus, so bilden die berechneten Werte eine Drehstrom-Korrektionskurve fur diesen Netzleistungsfaktor Fur die anderen vorkommenden Netzleistungsfaktoren fuhrt man dann die Rechnung in gleicher Weise aus und erhalt auf diese Weise eine Kurvenschar zur Korrektion der Meßwandler bei Drehstrom gleicher Belastung

Die Anwendung der so berechneten Korrektionskurven fur Drehstrom ist dann sehr einfach Man bestimmt sich zunachst den mittleren Netzleistungsfaktor Dies geschieht am einfachsten, indem man das Verhaltnis α_1 α_2 aus den beiden gemessenen Ausschlagen bildet und den zugehorigen Leistungsfaktor aus dem Kurvenbilde auf Seite 180 entnimmt Aus der diesem Netzleistungsfaktor entsprechenden Drehstrom-Korrektionskurve entnimmt man fur die vorliegende, am Strommesser abgelesene Strombelastung der Stromwandler den Korrektionsfaktor f_D, dann wird die Leistung

$$P = \frac{I}{5} \cdot \frac{E}{100} \cdot c \quad (\alpha_1 \pm \alpha_2) \cdot f_D \qquad \text{Watt.}$$

2. Drei-Leistungsmesser-Methode.

a) Entwickelung der Leistungsformel

Bei der Drei-Leistungsmesser-Methode liegt in jeder Leitung ein Leistungsmesser. Die Spannungskreise der drei Leistungsmesser sind in Sternschaltung zu einem künstlichen Nullpunkt verbunden. Wird für die Widerstände der drei Spannungskreise keinerlei Voraussetzung gemacht, dann liegt auch der künstliche Nullpunkt an einer beliebigen Stelle, er braucht also nicht mit dem tatsächlichen Nullpunkt des Drehstrom-Systems zusammenzufallen. Die Leistung des Drehstrom-Systems ist in jedem Falle die Summe der von den drei Leistungsmessern gemessenen Leistungen, wobei die gemessenen Einzelleistungen jedoch nicht gleich den Leistungen der drei Phasen sein müssen.

Dabei ist vollkommen gleichgültig, ob der untersuchte Stromerzeuger bzw. Stromverbraucher in Stern oder in Dreieck geschaltet ist.

Bezeichnen

e_1', e_2', e_3' = Momentanwerte der gemessenen Spannungen E_1', E_2', E_3' bei künstlichem, beliebig liegendem Nullpunkt,

e_1, e_2, e_3 = Momentanwerte der Phasenspannungen E_1, E_2, E_3 des Drehstrom-Systems,

i_1, i_2, i_3 = Momentanwerte der Ströme in den drei Leitungen,

so wird der Momentanwert der gemessenen Leistung

$$P = e_1' \, i_1 + e_2' \, i_2 + e_3' \, i_3$$

Ferner gilt für jedes Drehstrom-Dreileiter-System die Beziehung

$$i_2 = -(i_1 + i_3)$$

Es wird also $P = e'_1 \, i_1 - e'_2 \, i_1 - e'_2 \, i_3 + e'_3 \, i_3$

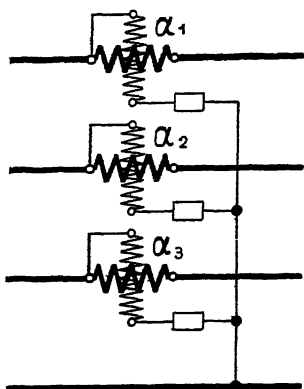
$$P = i_1 \, (e'_1 - e'_2) + i_3 \, (e'_3 - e'_2)$$

Die Klammerausdrücke $(e'_1 - e'_2)$ bedeuten nichts anderes als die resultierenden Spannungen, die durch Gegeneinanderschalten der gemessenen Spannungen entstanden sind (vgl. Figur auf Seite 202). Diese resultierenden Spannungen sind, wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, in jedem Falle gleich den verketteten Spannungen, d. h. den Netzspannungen. Die Gleichung entspricht daher vollkommen der auf Seite 175 abgeleiteten Gleichung für die Zwei-Leistungsmesser-Methode. Es ist von Interesse, daß auch das Diagramm direkt auf die Zwei-Leistungsmesser-Methode hinführt. Denkt man sich, daß der Widerstand des Spannungskreises des mittleren Leistungsmessers und damit die Phasenspannung E'_2 (vgl. Diagramm auf Seite 202) immer kleiner und schließlich gleich Null wird, so werden die Spannungen E'_1 und E'_3 gleich der verketteten Spannung, und der Ausschlag α_2 des mittleren Leistungsmessers wird gleich Null. Die Gesamtleistung des Drehstrom-Systems wird also in diesem Falle durch die Ausschläge α_1 und α_3 der beiden anderen Leistungsmesser bestimmt, die Netzstrom und Netzspannung messen.

Bei **Messungen in Drehstrom-Dreileiteranlagen** wählt man die Widerstände der drei Spannungszweige gleich groß. Der künstliche Nullpunkt wird daher stets annähernd dem tatsächlichen Nullpunkt des Drehstrom-Systems entsprechen. Die erforderliche Größe der Widerstände ergibt sich dann aus der Phasenspannung $E_p = E : \sqrt{3}$. Dann folgt die Leistung des Drehstrom-Systems aus den Zeigerausschlägen α_1, α_2 und α_3 der drei Leistungsmesser:

$$\boldsymbol{P = C \cdot c \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)} \qquad \textbf{Watt.}$$

Die Drei-Leistungsmesser-Methode hat vor der Zwei-Leistungsmesser-Methode den Vorteil, daß durch den Einbau gleicher Instrumente in alle drei Leitungen die Symmetrie gewahrt und die Gleichheit der Klemmenspannungen am Stromverbraucher nicht gestört wird. Dies ist z. B. bei Messungen an Kleinmotoren von großem Wert. Bei Messungen unter normalen Verhältnissen ist indessen der Vorteil einer vollkommen symmetrischen Schaltung nicht so schwerwiegend, daß man dagegen die Unbequemlichkeiten, die durch die Ablesung dreier Instrumente entstehen, sowie die höheren Kosten der Meßschaltung in Kauf nehmen sollte. Die Schaltung wird daher für Drehstrom-Dreileitersysteme nur wenig angewendet.

Bei **Messungen in Drehstrom-Vierleiteranlagen** wahlt man die Widerstande der drei Spannungszweige ebenfalls gleich groß, schließt aber den Sternpunkt der Widerstande an den Nulleiter des Drehstrom-Systems an Da die Spannungszweige dann an der tatsachlichen Phasenspannung liegen, sind auch die gemessenen Einzelleistungen gleich den Leistungen der drei Phasen Die Gesamtleistung des Drehstrom-Systems ist gleich der Summe der drei Phasenleistungen

$$P = C \cdot c \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \text{ Watt}$$

Fur die Berechnung der erforderlichen Vorschaltwiderstande und der Widerstands-Konstante C ist hierbei naturgemaß die Phasenspannung $E_p = E / \sqrt{3}$ maßgebend Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Drei-Leistungsmesser-Methode das einzig mogliche exakte Meßverfahren fur Drehstrom-Vierleitersysteme ist Die Zwei-Leistungsmesser-Methode ist hierbei entwickelungsgemaß nicht anwendbar, da die Bedingungsgleichung $i_2 = -(i_1 + i_3)$ fur diese Meßmethode durch den im Nulleiter fließenden Ausgleichstrom hinfallig wird

b) Bestimmung des mittleren Leistungsfaktors.

Zur Bestimmung des mittleren Leistungsfaktors eines annahernd gleichmaßig belasteten Drehstrom-Vierleitersystems ist die Messung der drei Strome und Spannungen erforderlich (vgl Seite 179) Bezeichnet I_{mittel} den Mittelwert aus den drei gemessenen Stromen und $E_{p\,\text{mittel}}$ den Mittelwert aus den drei gemessenen Phasenspannungen, so ist der mittlere Leistungsfaktor des Systems

$$\cos \varphi_{\text{mittel}} = \frac{P}{3 \cdot E_{p\,\text{mittel}} \cdot I_{\text{mittel}}}$$

Ein derartig berechneter mittlerer Leistungsfaktor hat jedoch nur dann Bedeutung, wenn die drei Phasen annahernd gleichartig belastet sind Treten erhebliche Verschiedenheiten der drei Phasenbelastungen auf, so kann man nur den Leistungsfaktor einer jeden Phase bestimmen

$$\cos \varphi_1 = \frac{C \cdot c \cdot \alpha_1}{E_{p1} \cdot I_1}, \quad \cos \varphi_2 = \frac{C \cdot c \cdot \alpha_2}{E_{p2} \cdot I_2}, \quad \cos \varphi_3 = \frac{C \cdot c \cdot \alpha_3}{E_{p3} \cdot I_3}$$

c) Schaltungen fur direkte Messungen nach der Drei-Leistungsmesser-Methode

Bei der direkten Messung ergibt sich **die gemessene Leistung** unmittelbar aus den Zeigerausschlagen der drei Leistungsmesser (vgl Seite 38 bzw 78)

$$P = C \cdot c \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \qquad \text{Watt}$$

Fur die Berechnung der erforderlichen Vorschaltwiderstande und der Widerstands-Konstante C ist naturgemaß die Phasenspannung $E : \sqrt{3}$ maßgebend

Aus den Mittelwerten der abgelesenen Strome und Spannungen folgt bei nahezu gleicher Strombelastung der **mittlere Leistungsfaktor** (vgl. Seite 179)

$$\cos \varphi_{\text{mittel}} = \frac{P}{3 \cdot E_{p\,\text{mittel}} \cdot I_{\text{mittel}}}$$

Fur die Berechnung der durch den **Eigenverbrauch der Meßinstrumente** verursachten Fehler gilt das gleiche, was auf Seite 161 fur Einphasenstrom-Leistungsmessungen entwickelt worden ist Da drei Satze gleicher Instrumente vorhanden sind, ist naturgemaß auch der Eigenverbrauch fur drei Instrumentsatze in Rechnung zu ziehen Bei annahernd gleichmaßiger Belastung genugt es, den fur einen Instrumentsatz ermittelten Eigenverbrauch, mit 3 multipliziert, in die Rechnung einzusetzen Man wird jedoch in den weitaus meisten Fallen von einer Korrektion ganz absehen konnen, falls man die Schaltung so wahlt, daß die kleinsten Fehler auftreten

Die **Meßschaltungen** ergeben sich unter Beachtung der auf Seite 35 bzw 76 angefuhrten Schaltregeln in gleicher Weise, wie es im vorhergehenden Abschnitt fur die Zwei-Leistungsmesser-Methode entwickelt worden ist Auf Seite 206 ist eine vollstandige Meßschaltung mit drei Instrumentsatzen angegeben Wenn die Belastung konstant ist, oder wenn es sich nur um die Messung der drei Einzelleistungen handelt, kann man die drei Messungen, die bei der vollstandigen Meßschaltung gleichzeitig ausgefuhrt werden, auch nacheinander mit nur einem Instrumentsatz vornehmen Die hierzu erforderlichen Umschaltungen werden zweckmaßig mit zwei Stromumschaltern (vgl Seite 151) vorgenommen, wie es das Schaltbild auf Seite 207 zeigt. Allerdings ist hierbei noch mehr als bei den Meßschaltungen auf Seite 186 darauf Rucksicht zu nehmen, daß sich die Belastung wahrend der drei nacheinander ausgefuhrten Messungen erheblich andern kann Es ist daher bei der Anwendung dieser dreifachen Umschaltung einige Vorsicht geboten

Schaltung für direkte Drehstrom-Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem

Messung	Umschalter		Umschalter	
I	S_1 nach oben		S_2 nach oben	
II	S_1 nach unten		S_2 nach oben	
III	S_1 nach unten		S_2 nach unten	

Schaltung für direkte Drehstrom-Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem mit zwei Stromumschaltern

d) Schaltungen fur indirekte Messungen nach der Drei-Leistungsmesser-Methode

Bei der indirekten Messung mit Strom- und Spannungswandlern sind die Angaben der Leistungsmesser (vgl. Seite 61 bzw 77) noch mit den Ubersetzungen der Meßwandler (vgl Seite 128 und 140) zu multiplizieren Die **gemessene Leistung** betragt demnach

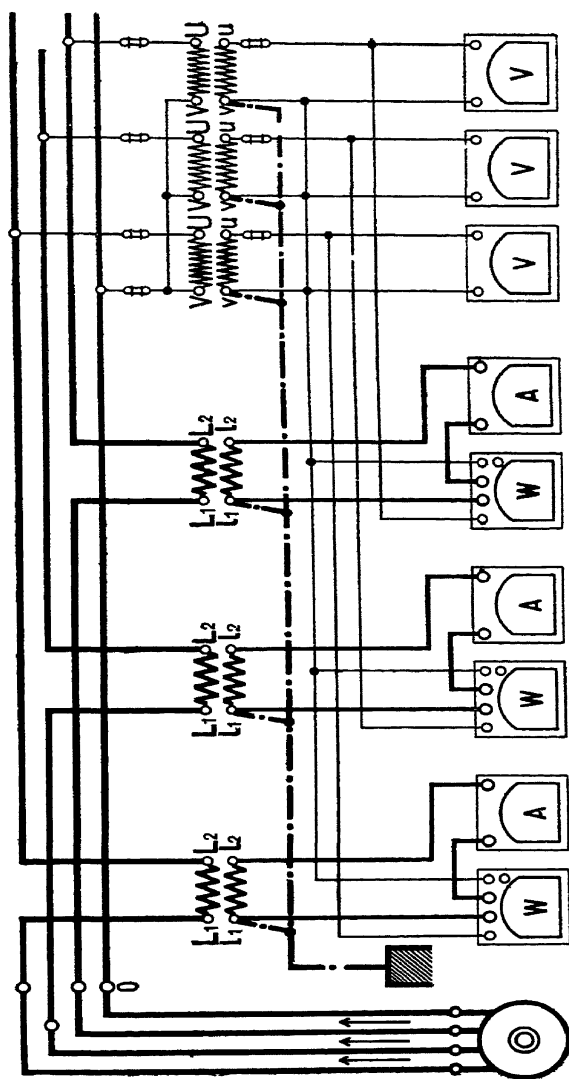
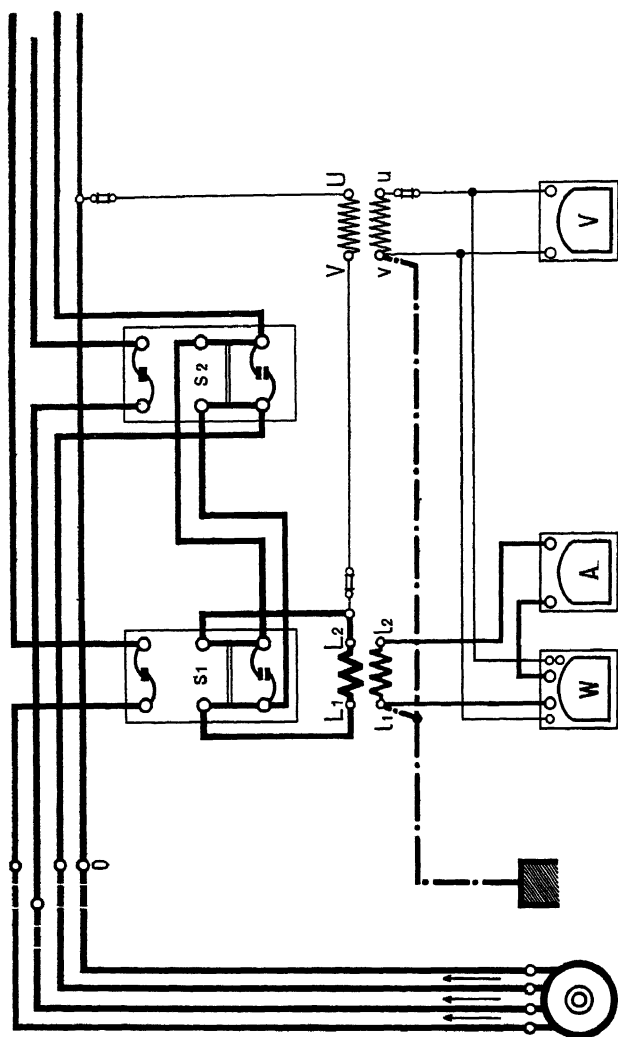
$$P = \frac{I}{5} \, \frac{E_p}{100} \, c \, (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \qquad \text{Watt}$$

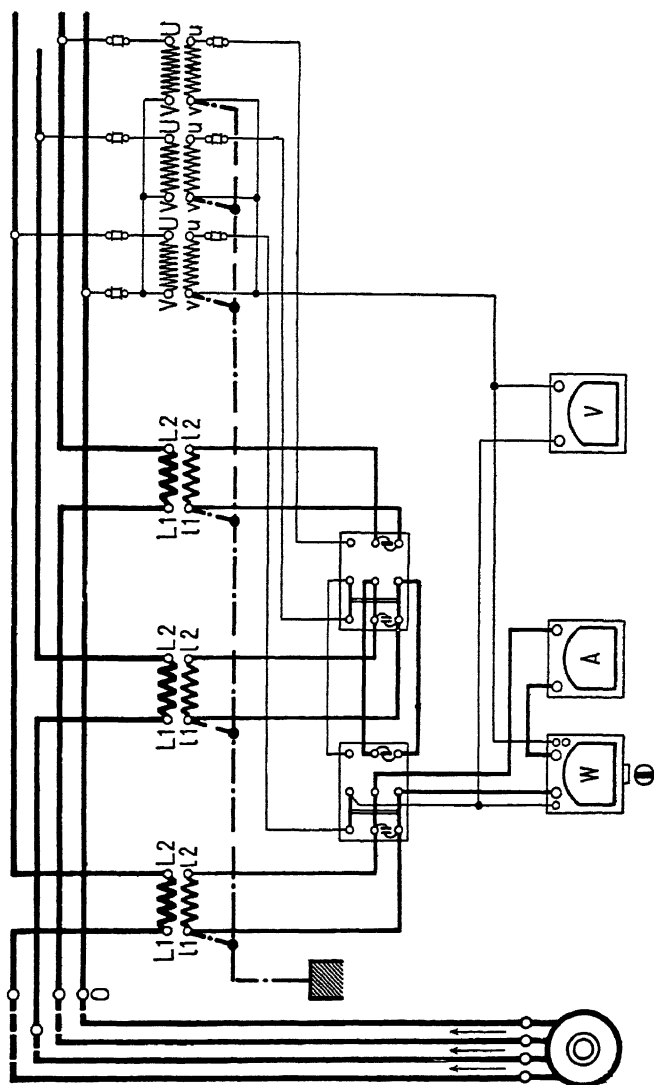
Die Spannungswandler sind hierbei nur fur die Phasenspannung E_p zu bemessen

Der **mittlere Leistungsfaktor** ergibt sich in gleicher Weise wie bei der direkten Messung aus den gemessenen Stromen und Spannungen Die Ablesungen der Strom- bzw Spannungsmesser sind hierbei naturlich ebenfalls mit den Ubersetzungen der Strom- bzw Spannungswandler zu multiplizieren

$$\cos \varphi_{\text{mittel}} = \frac{P}{3 \; E_{p\,\text{mittel}} \cdot I_{\text{mittel}}}$$

Bei besonders genauen Messungen ist noch der **Eigenverbrauch der Meßschaltung** zu berucksichtigen Die Art dieser Berechnung ergibt sich ohne weiteres aus den Angaben auf Seite 166 Da es sich um drei vollstandig gleiche, annahernd gleichmaßig belastete Meßgeratsatze handelt, genugt es, die Rechnung fur einen Satz durchzufuhren und das Ergebnis mit 3 zu multiplizieren In den meisten Fallen wird man jedoch den Eigenverbrauch der Meßschaltung vernachlassigen konnen, wenn man die Schaltung so wahlt, daß die kleinsten Fehler auftreten (vgl Seite 166) Die Berucksichtigung der Phasenverschiebungs- und Übersetzungsfehler der Stromwandler erfolgt mit Hilfe der den Stromwandlern beigegebenen Korrektionskurven in der gleichen Weise wie bei Einphasenstrom Eine Korrektion der Angaben der Spannungswandler ist nicht erforderlich

Die **Meßschaltungen** ergeben sich in ahnlicher Weise, wie dies bei der Zwei-Leistungsmesser-Methode (vgl Seite 187) entwickelt worden ist Auf Seite 209 ist eine vollstandige Meßschaltung mit drei Satzen von Instrumenten angegeben, wahrend auf Seite 210 und 211 die entsprechenden Schaltungen mit Stromumschaltern auf der Hochspannungs- bzw Niederspannungsseite dargestellt sind

Schaltung für indirekte Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem

Messung I Umschalter S_1 nach oben, Umschalter S_2 nach oben
" II " S_1 " unten, " S_2 " oben
" III " S_1 " unten, " S_2 " unten

Schaltung für indirekte Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem mit zwei Stromumschaltern auf der Hochspannungsseite

Schaltung für indirekte Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem mit zwei Stromumschaltern auf der Niederspannungsseite

e) Schaltungen fur halbindirekte Messungen nach der Drei-Leistungsmesser-Methode

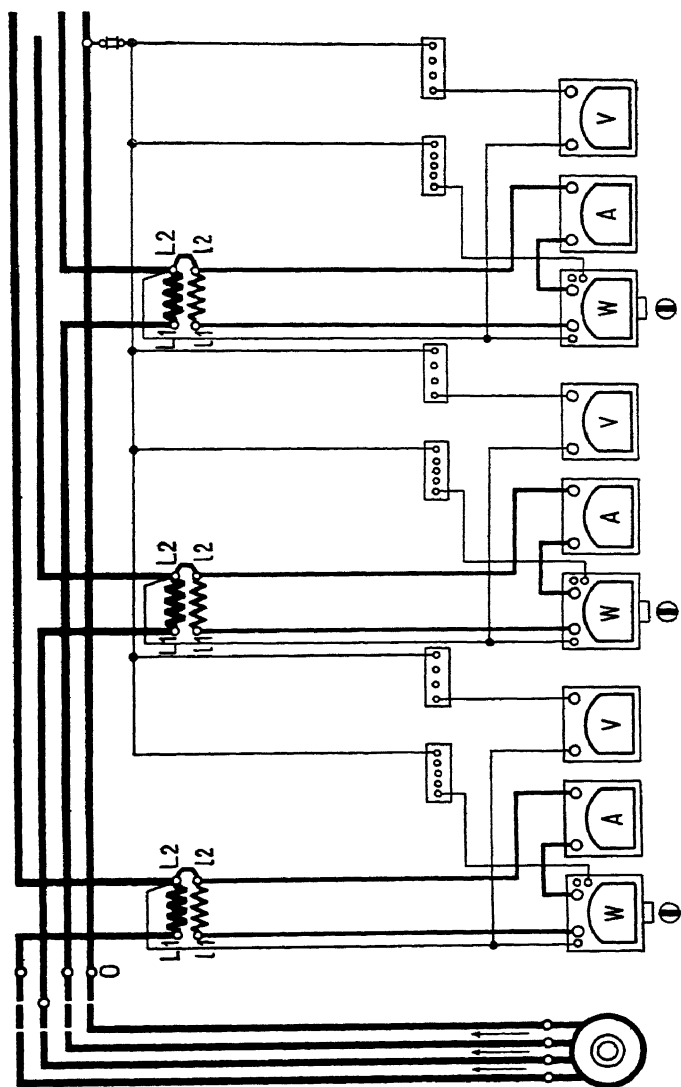
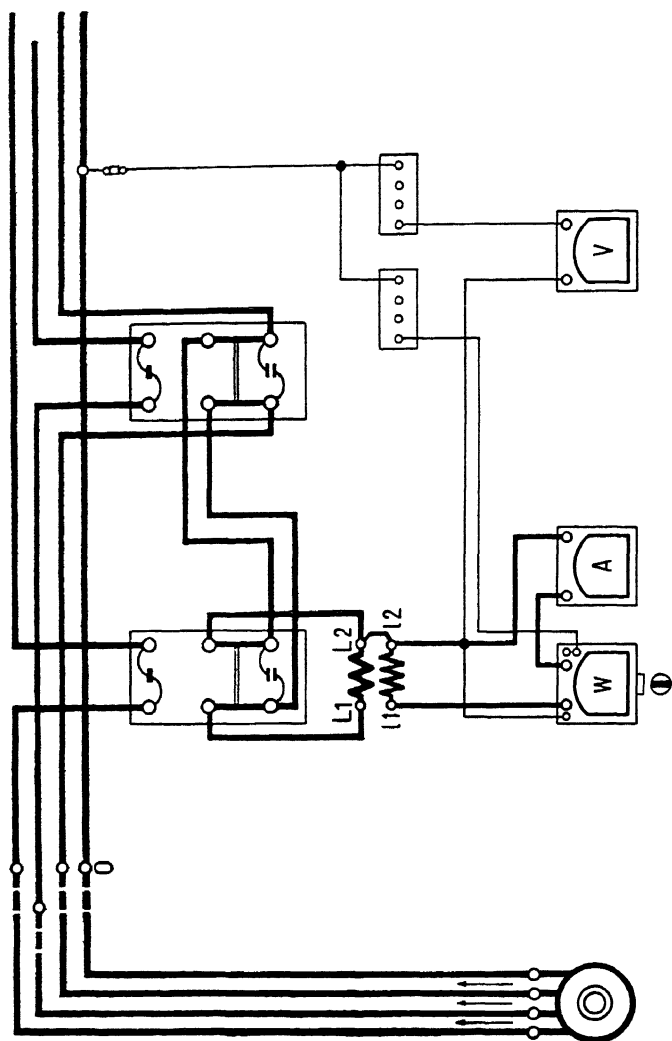
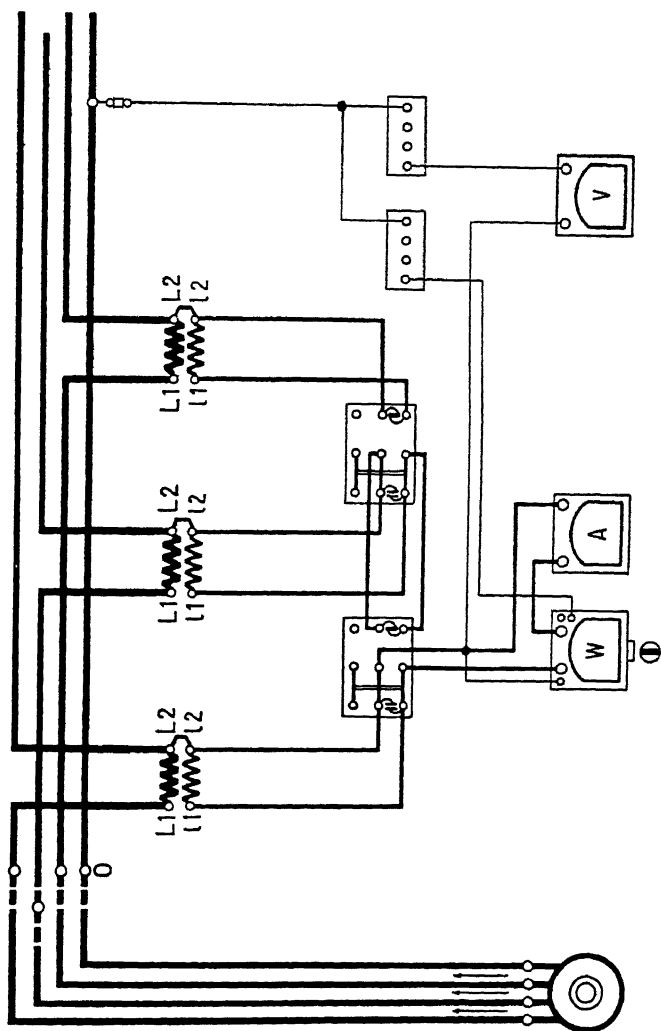
Bei der halbindirekten Leistungsmessung mit Stromwandlern als Strom-Meßbereichwahlern und mit Vorschaltwiderstanden fur die Spannungskreise der Leistungsmesser sind die Angaben der Leistungsmesser (vgl Seite 63 bezw 78) noch mit der Ubersetzung der Stromwandler (vgl Seite 128) zu multiplizieren Die **gemessene Leistung** des Drehstrom-Vierleitersystems betragt also

$$P = \frac{I}{5} \quad C \quad c \quad (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \qquad \text{Watt}$$

Aus den Mittelwerten der Strome und Spannungen folgt bei nahezu gleichmaßiger Belastung ein **mittlerer Leistungsfaktor** (vgl Seite 179)

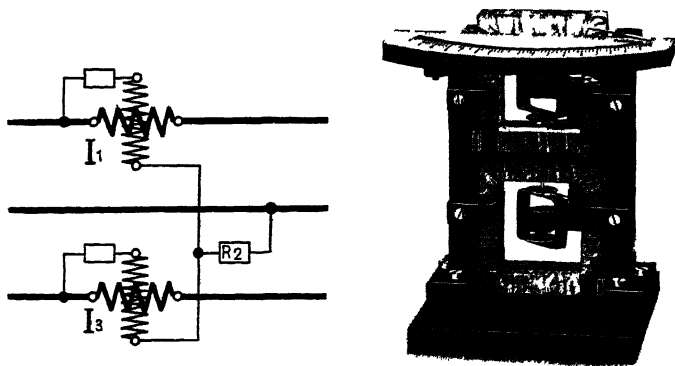
$$\cos \varphi_{\text{mittel}} = \frac{P}{3 \quad E_{p\,\text{mittel}} \quad I_{\text{mittel}}}$$

Bei besonders genauen Messungen sind die abgelesenen Werte noch zu korrigieren Der **Eigenverbrauch der Meßschaltung** ergibt sich in gleicher Weise, wie dies auf Seite 170 fur Einphasenstrom-Leistungsmessungen entwickelt worden ist, jedoch ist die Rechnung fur die drei Instrumentsatze durchzufuhren Die Berucksichtigung der Phasenverschiebungs- und Übersetzungsfehler der Stromwandler erfolgt mittels der den Stromwandlern beigegebenen Korrektionskurven ebenso wie bei Einphasenstrom

Eine **vollstandige Meßschaltung** fur halbindirekte Messungen ist auf Seite 213 angegeben Fur die Ausfuhrung der Schaltung gilt das gleiche, was auf Seite 170 uber halbindirekte Einphasenstrom-Leistungsmessungen gesagt wurde Bei konstanter Belastung konnen die drei Messungen, die bei der vollstandigen Meßschaltung gleichzeitig stattfinden, auch nacheinander vorgenommen werden Die entsprechenden **Meßschaltungen mit Stromumschaltern** sind auf den folgenden Seiten 214 und 215 angegeben Die Umschaltung auf der Primarseite ergibt die billigste Meßschaltung, ihre Anwendung ist aber wegen der Große der Schalter auf mittlere Stromstarken beschrankt Die Umschaltung auf der Sekundarseite vermeidet diesen Nachteil und ist daher fur erweiterungsfahige Meßeinrichtungen vorzuziehen Allerdings ist auch hierbei stets darauf Rucksicht zu nehmen, daß sich die Belastung wahrend der drei nacheinander auszufuhrenden Messungen erheblich andern kann Man wird daher diese Umschaltung nur dann anwenden, wenn das Hauptgewicht auf die Messung der Belastung der einzelnen Phasen gelegt wird

Schaltung für halbindirekte Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem

Schaltung für halbindirekte Leistungsmessungen in einem Drehstrom=Vierleitersystem mit zwei Stromumschaltern auf der Primärseite

Schaltung für halbindirekte Leistungsmessungen in einem Drehstrom-Vierleitersystem mit zwei Stromumschaltern auf der Sekundärseite

3. Drehstrom-Leistungsmesser mit zwei Meßsystemen.

a) Entwickelung der Leistungsformel.

Der Drehstrom-Leistungsmesser soll die Messung der Leistung eines beliebig belasteten Drehstrom-Dreileitersystems durch **eine einzige Zeigerablesung** ermöglichen. Dies ist besonders in Betrieben mit stark schwankender Belastung erwünscht, da in diesem Falle die Ablesung zweier Leistungsmesser einige Schwierigkeiten bietet. Nach den vorhergehenden Entwickelungen sind zur Messung der Leistung eines

beliebig belasteten Drehstrom-Dreileitersystems mindestens zwei Wattmessungen erforderlich. Der Drehstrom-Leistungsmesser muß daher zwei Meßsysteme enthalten. Diese beiden Systeme sind mechanisch starr gekuppelt, so daß sich die Drehmomente der beiden Systeme selbsttätig addieren bzw. subtrahieren. Der Zeigerausschlag des Instruments gibt daher unmittelbar die Summe bzw. Differenz der beiden gemessenen Teilleistungen an.

Die **innere Schaltung** des Instruments entspricht im wesentlichen der Zwei-Leistungsmesser-Methode. Um die gegenseitigen Beeinflussungen der direkt übereinander aufgebauten Meßsysteme zu kompensieren, ist jedoch die Schaltung des Drehstrom-Leistungsmessers durch Einbau eines dritten Korrektionswiderstandes R_2 in der oben angegebenen Weise abgeändert worden.

Bezeichnen i_1, i_3 = Momentanwerte der Strome in den feststehenden Stromspulen,

i_{s1}, i_{s3} = Momentanwerte der Strome in den beweglichen Spannungsspulen,

i_{s2} = Momentanwert des Stromes im Korrektionswiderstand R_2,

M_1, M_1', M_3, M_3' = Momentanwerte der erzeugten Drehmomente,

c_1, c_1', c_3, c_3' = System-Konstanten,

so wurden sich folgende Drehmomente ergeben, und zwar durch Zusammenwirken von

oberer Stromspule und oberer Spannungsspule

$$c_1 \; i_1 \cdot i_{s1} = \text{const} \; M_1$$

oberer Stromspule und unterer Spannungsspule

$$c_1' \; i_1 \; i_{s3} = \text{const} \cdot M_1'$$

unterer Stromspule und unterer Spannungsspule

$$c_3 \; i_3 \cdot i_{s3} = \text{const} \; M_3$$

unterer Stromspule und oberer Spannungsspule

$$c_3' \; i_3 \; i_{s1} = \text{const} \; M_3'$$

Der Ausschlag α des Instruments wird durch die Summe der auf das System ausgeubten Drehmomente bestimmt Setzt man voraus, daß die Empfindlichkeit des Instruments an allen Stellen der Skala gleich groß ist, so wird

$$\text{const} \cdot (M_1 + M_1' + M_3 + M_3') = \alpha$$

$$c_1 \; i_1 \cdot i_{s1} + c_1' \; i_1 \; i_{s3} + c_3 \; i_3 \; i_{s3} + c_3' \; i_3 \; i_{s1} = \alpha$$

Da die Summe der Momentanwerte der Strome eines Drehstrom-Dreileitersystems gleich 0 ist, gilt die Beziehung

$$i_{s1} = -(i_{s2} + i_{s3})$$
$$i_{s3} = -(i_{s1} + i_{s2})$$

Setzen wir diese Werte oben ein, so folgt

$$i_1 [c_1 \; i_{s1} - c_1' \; (i_{s1} + i_{s2})] + i_3 [c_3 \cdot i_{s3} - c_3' \; (i_{s2} + i_{s3})] = \alpha$$

$$i_1 [(c_1 - c_1') \; i_{s1} - c_1' \; i_{s2}] + i_3 [(c_3 - c_3') \cdot i_{s3} - c_3' \cdot i_{s2}] = \alpha$$

Sind die induktionsfreien Widerstande der drei Spannungszweige R_1, R_2, R_3, so sind die Momentanwerte der an ihren Enden herrschenden Spannungen e_1, e_2, e und

$$i_{s1} = \frac{e_1}{R_1}, \quad i_{s2} = \frac{e_2}{R_2}, \quad i_{s3} = \frac{e_3}{R_3}$$

Setzen wir dies in die letzte Gleichung auf Seite 217 ein, so folgt

$$i_1 \left[\frac{c_1 - c_1'}{R_1} e_1 - \frac{c_1'}{R_2} \cdot e_2 \right] + i_3 \left[\frac{c_3 - c_3'}{R_3} e_3 - \frac{c_3'}{R_2} e_2 \right] = \alpha$$

Wahlt man die Widerstande der drei Spannungszweige so, daß

$$\frac{c_1 - c_1'}{R_1} = \frac{c_1'}{R_2} = \frac{c_3 - c_3'}{R_3} = \frac{c_3'}{R_2} = \frac{1}{c}$$

wird, so erhalt die Gleichung die einfache Form

$$i_1 (e_1 - e_2) + i_3 (e_3 - e_2) = c \quad \alpha$$

Dies ist dieselbe Gleichung, die auf Seite 175 fur die Zwei-Leistungsmesser-Methode entwickelt wurde Die Ausdrucke $(e_1 - e_2)$ und $(e_3 - e_2)$ stellen nichts anderes dar als die verketteten Spannungen, die durch Gegeneinanderschalten von zwei Phasenspannungen entstanden sind Da das bewegliche Meßsystem des Leistungsmessers den einzelnen Impulsen der momentanen Leistungswerte nicht folgen kann, stellt es sich infolge seiner Tragheit auf einen mittleren Wert ein, der der mittleren Leistung entspricht Die mittlere Leistung des Drehstrom-Systems ergibt sich also aus **einem** Zeigerausschlag

$$P = c \quad \alpha \qquad \text{Watt}$$

Aus der Bedingungsgleichung fur die Widerstande folgt, daß die 3 Großen R_1, R_2 und R_3 durch 4 Gleichungen, also uberbestimmt sind Die Bedingungsgleichungen werden daher nicht uber die ganze Ausdehnung der Skala in gleich vollkommener Weise erfullt Die Eichung des Instruments erfolgt derart, daß die Angaben in dem wichtigeren Gebrauchsgebiete, also etwa von $20^0/_0$ des Ausschlags an, richtig sind Fur Messungen bei außergewohnlichen Verhaltnissen, also etwa bei $\cos \varphi = 0$, wie das bei der Eichung von Zahlern vorkommt, ist daher der Drehstrom-Leistungsmesser nicht geeignet

b) Instrument-Konstante des Drehstrom-Leistungsmessers.

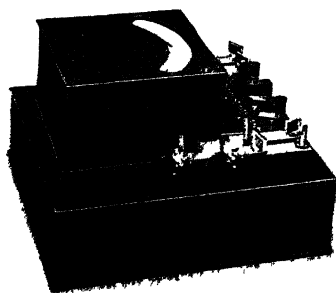
Der Wert der Instrument-Konstante c des Drehstrom-Leistungsmessers ist bestimmt durch die Beziehung

$$c = \frac{2 \times \text{max Stromstarke} \quad \text{max Spannung}}{\text{Anzahl der Skalenteile}}$$

Der volle Zeigerausschlag des Instrumentes wird also erst bei einer Leistung erreicht, die gleich dem doppelten Produkt aus dem jeweiligen Strom- und Spannungsmeßbereich ist Da jedoch die Drehstromleistung nur das 1,73fache dieses Produktes ist, folgt, daß das Instrument erst bei einer Uberlastung von 13,5 % den vollen Zeigerausschlag geben wird

Fur die listenmaßigen Meßbereiche der Drehstrom-Leistungsmesser ergeben sich folgende Instrument-Konstanten

Strom-meß-bereich Amp	Stopsel gesteckt bei	Lasche zwischen	Instrument-Kontante c (Wert eines Skalenteiles) fur			Anzahl der Skalen-teile
			150 Volt	300 Volt	450 Volt	
2,5 5	2 1 u 3	— —	5 10	10 20	15 30	150
5 10	2 1 u 3	— —	10 20	20 40	30 60	150
12,5 25	2 1 u 3	— —	25 50	50 100	75 150	150
25 50	— —	2 u 3 1 u 2, 3 u 4	50 100	100 200	150 300	150
50 100	— —	2 u 3 1 u 2, 3 u 4	100 200	200 400	300 600	150
100 200	— —	2 u 3 1 u 2, 3 u 4	250 500	500 1000	750 1500	120
5	90 Volt fur Anschluß an Spannungswandler mit 100 Volt Sekundarspannung, $c = 6$					150

Fur Spannungen uber 450 Volt muß der Drehstrom-Leistungsmesser in Verbindung mit Spannungswandlern verwendet werden Die Benutzung außerer Vorschaltwiderstande fur hohere Spannungen ist nicht moglich, da die Betriebsspannung sowohl zwischen den beiden feststehenden Stromspulen, als auch zwischen den Strom- und den zugehorigen beweglichen Spannungsspulen auftritt (vgl Schaltbild auf Seite 216) Man hat die Potentialdifferenz zwischen Strom- und Spannungsspulen beim Drehstrom-Leistungsmesser zulassen mussen, da es nicht moglich ist, die beiden beweglichen Spulen ohne erhebliche Gewichtsvermehrung hinreichend sicher voneinander zu isolieren Die durch diese Potentialdifferenz etwa verursachten Storungen durch elektrische Ladungserscheinungen sind fur die zugelassenen Spannungen bis hochstens 450 Volt nicht erheblich und konnen bei dem Drehstrom-Leistungsmesser, der nur fur Betriebsmessungen mit einer mittleren Meßgenauigkeit von etwa 1 % des Hochstwertes bestimmt ist, vernachlassigt werden

c) Meß-Schaltungen des Drehstrom-Leistungsmessers

Fur **direkte Messungen** ist auf Seite 222 ein Schaltbild angegeben Die auf Seite 35 angefuhrten Schaltregeln fur Prazisions-Leistungsmesser haben fur den Drehstrom-Leistungsmesser keine Gultigkeit Einesteils konnen Potentialdifferenzen im Drehstrom-Instrument aus konstruktiven Grunden nicht vermieden werden, anderteils aber ist das Instrument symmetrisch aufgebaut, so daß die Richtungsregeln nur unter Beachtung der infolge der Symmetrie des Instruments auftretenden Umkehrungen gelten Wegen der im Instrument auftretenden Potentialdifferenzen

sind alle drei Spannungsleitungen zu sichern Die Leistung ergibt sich unmittelbar aus dem Zeigerausschlag des Instruments

$$P = c \quad \alpha \qquad \text{Watt}$$

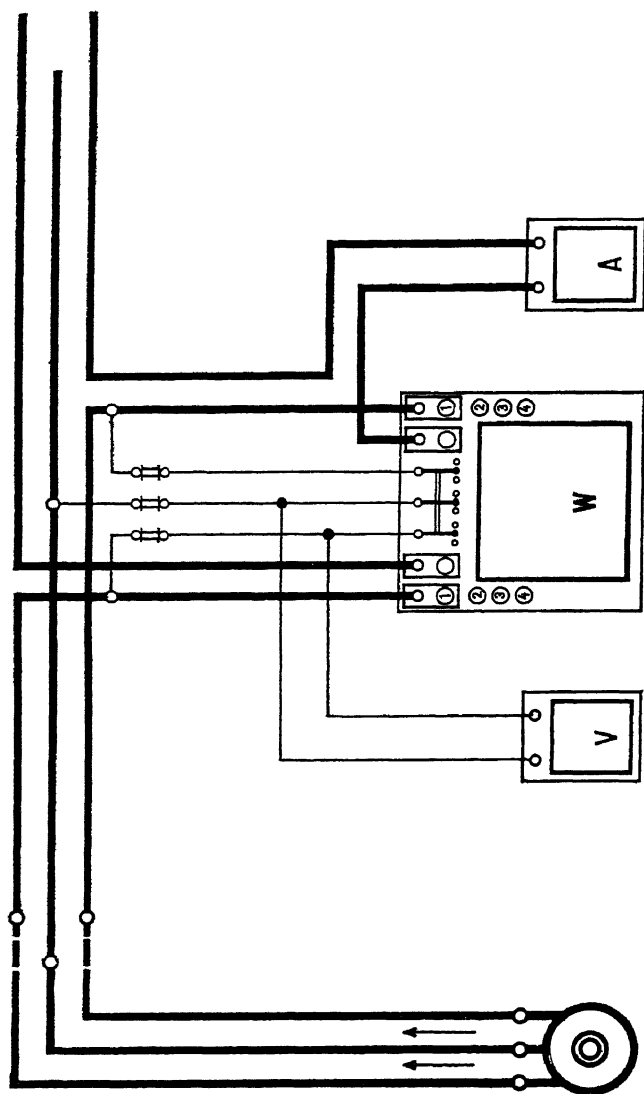
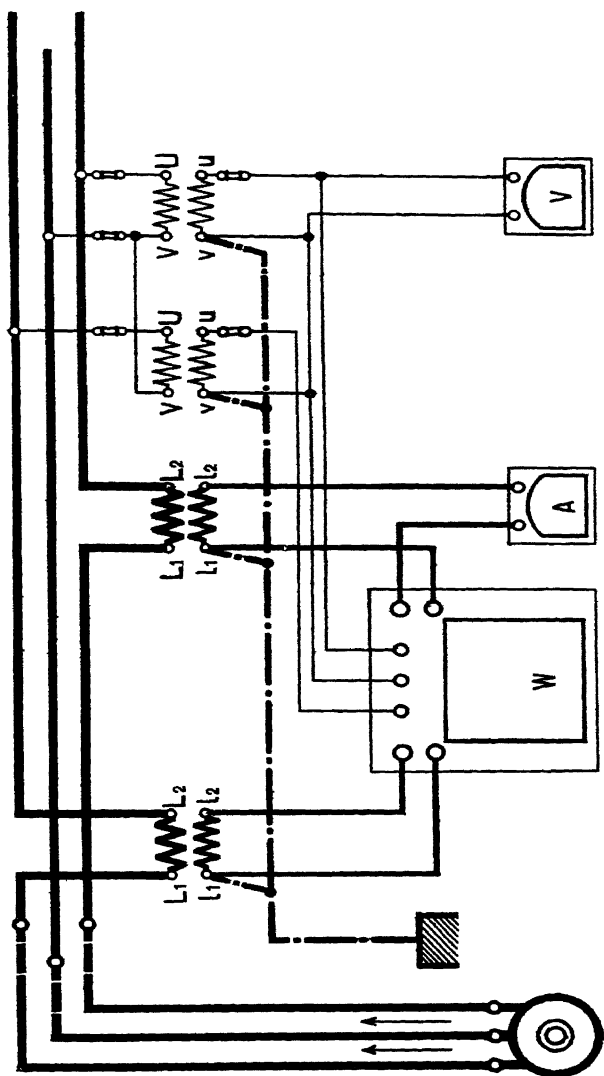
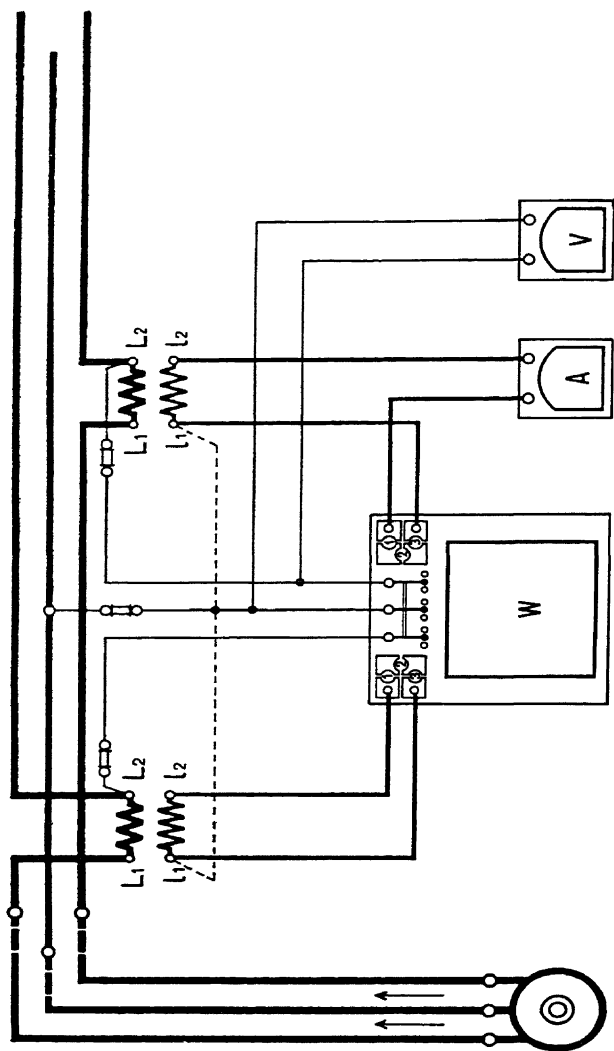
Die durch den Eigenverbrauch des Instruments verursachten Fehler liegen innerhalb der Fehlergrenzen des Instruments Die Schaltung ist uberdies so gezeichnet, daß diese Fehler bei der Untersuchung eines Stromverbrauchers moglichst klein werden

Fur **indirekte Messungen** mit Strom= und Spannungswandlern ist die Schaltung auf Seite 223 angegeben Beim Aufbau der Schaltung sind die Schaltregeln fur Meßwandler (vgl Seite 119) zu beachten Die Leistung betragt

$$P = \frac{I}{5} \quad \frac{E}{100} \quad c \quad \alpha \qquad \text{Watt.}$$

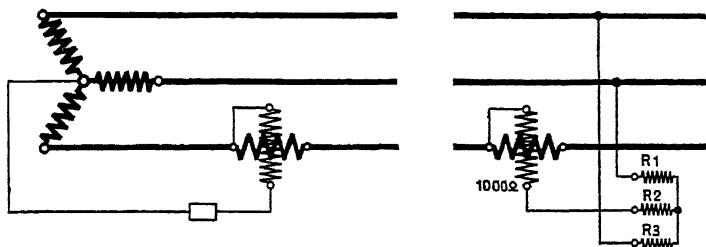
Die neueren Drehstrom=Leistungsmesser fur Anschluß an Meß=wandler erhalten an Stelle des fruheren Meßbereiches 100 Volt einen **Spannungsmeßbereich 90 Volt,** der so reichlich bemessen ist, daß er dauernd an 110 Volt angeschlossen werden kann Bei Anschluß dieses Meßbereiches von 90 Volt an die normalen Spannungswandler mit 100 Volt Sekundarspannung wird also der Spannungskreis des Lei=stungsmessers dauernd um 10% uberlastet Die hierdurch verursachte Vergroßerung des Zeigerausschlages hebt die durch die Wahl der In=strument=Konstante (vgl Seite 219) bedingte Verkleinerung des Aus=schlages zum großten Teile wieder auf, so daß der Drehstrom=Leistungs=messer bei voller Primarspannung des Spannungswandlers, bei vollem Strom und bei einem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$ annahernd den vollen Zeigerausschlag gibt

Fur **halbindirekte Messungen** mit Stromwandlern als Strom=Meß=bereichwahlern ergibt sich die auf Seite 224 angegebene Schaltung Bei der Ausfuhrung dieser Schaltung ist besonders auf die durch Schalt=regel 6 (vgl Seite 121) bedingte Potential=Ausgleichleitung zu achten Durch diese werden die Potentialdifferenzen im Instrument auf den kleinstmoglichen Wert herabgesetzt, so daß diese Schaltung gunstiger ist als die direkte Schaltung, bei der notwendigerweise die volle Spannung im Instrument auftritt Die halbindirekte Meßschal=tung konnte daher unter Verwendung besonderer außerer Vorschalt=widerstande ohne weiteres auch fur hohere Spannungen bis 600 Volt benutzt werden Die gemessene Leistung betragt

$$P = \frac{I}{5} \cdot c \quad \alpha \qquad \text{Watt.}$$

Schaltung für direkte Drehstrom-Leistungsmessungen bei beliebig belasteten Phasen,
mit Drehstrom-Leistungsmesser

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen bei beliebig belasteten Phasen, mit Drehstrom-Leistungsmesser

Schaltung für halbindirekte Drehstrom-Leistungsmessungen bei beliebig belasteten Phasen, mit Drehstrom-Leistungsmesser und Stromwandlern als Meßbereichwählern

4. Ein-Leistungsmesser-Methoden fur Drehstrom gleicher Belastung.

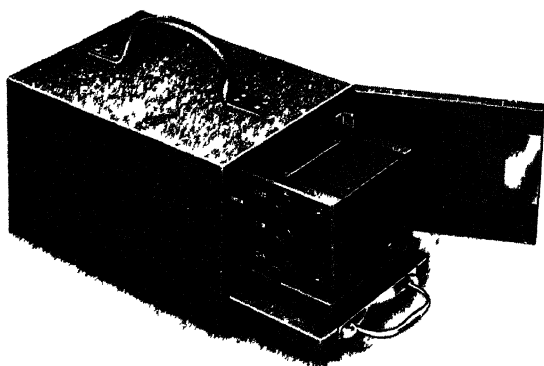
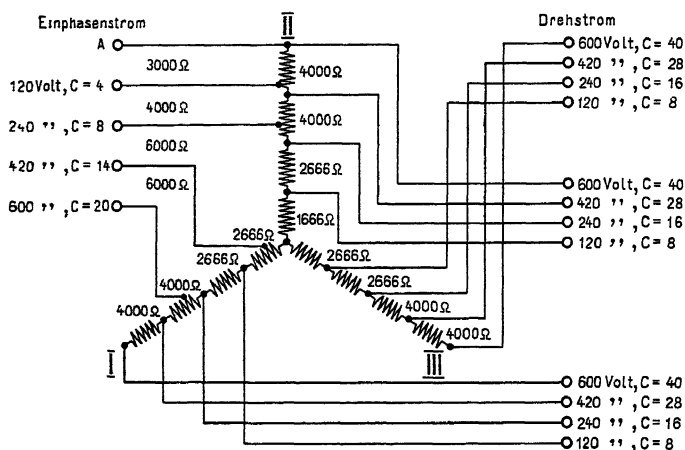
a) Entwickelung der Leistungsformel fur die Nullpunktmethode

Die Gesamtleistung eines Drehstrom-Systems ist gleich der Summe der Belastungen der drei Phasen Sind diese gleichmaßig belastet, wie

es bei Motoren meist der Fall ist, so genugt es, die Leistung nur einer Phase zu messen und das Ergebnis mit 3 zu multiplizieren Da die Bedingung genau gleichmaßig verteilter Belastung praktisch nur annahernd erfullt ist, kann mit dieser Methode nicht die Meßgenauigkeit erzielt werden wie mit der Zwei-Leistungsmesser-Methode Fur technische Messungen wird die Methode jedoch in vielen Fallen recht brauchbar sein, namentlich bei Messungen an Maschinen mit stark schwankender Belastung, da es hierbei vielfach mehr darauf ankommt, die Anderungen der Belastung zu beobachten, als die genaue Große der Leistung zu bestimmen

Zur Messung der Leistung einer Phase ist der Nullpunkt des Drehstrom-Systems erforderlich Da der naturliche Nullpunkt jedoch in den wenigsten Fallen zuganglich ist, muß man sich meist einen **kunstlichen Nullpunkt** herstellen Man schaltet zu diesem Zwecke drei Widerstande in Sternschaltung Sind die Widerstande so bemessen, daß die Beziehung

$$R_1 = R_3 = R_2 + 1000$$

erfullt wird, so liegt der Sternpunkt der Widerstande genau symmetrisch, entspricht also dem idealen Nullpunkt des Drehstrom-Systems

Die zu messende Drehstromleistung ergibt sich bei einer derartigen Nullpunktschaltung durch Multiplikation der Angaben des Leistungs-

Außere Ausfuhrung der Nullpunktwiderstande fur Drehstrom gleicher Belastung

Innenschaltung eines Nullpunktwiderstandes fur Drehstrom gleicher Belastung mit besonderen Klemmen fur Einphasenstrom

messers mit der Widerstands-Konstante für Drehstrom. Diese ist bei normaler Strombelastung des Widerstandes bzw. des Leistungsmesser-Spannungskreises mit 0,03 Ampere 1,73 mal so groß wie die Widerstands-Konstante für Einphasenstrom, sofern man die in einem Drehstrom-Dreileitersystem allein meßbare verkettete Spannung in die Rechnung einsetzt. Um an Stelle des für die Rechnung unbequemen Faktors 1,73 den runden Wert 2 zu erhalten, muß man den Strom im Spannungskreis des Leistungsmessers im Verhältnis 2 : 1,73 von 0,030 auf 0,026 Ampere verkleinern. Die drei Zweige des Nullpunktwiderstandes erhalten dann bei Präzisions-Leistungsmessern die im nachstehenden Schaltbild angegebenen Werte.

Bedeutet E die verkettete Spannung, so ergibt sich der Widerstand R eines Zweiges

$$R_1 = R_3 = \frac{E}{\sqrt{3} \cdot 0{,}026} = \frac{\sqrt{3}}{2{,}6} \cdot 100 \cdot \frac{E}{3} = \frac{2}{3}\left(1000 \cdot \frac{E}{30}\right)$$

$$R_2 = R_1 - 1000$$

Hierbei ist die verkettete Spannung E, also der Spannungsmeßbereich des Nullpunktwiderstandes, stets als ein Vielfaches von 30 Volt anzunehmen. Der Klammerausdruck der obigen Formel stellt nichts anderes dar als den für eine gleichgroße Einphasenspannung erforderlichen Widerstand. Hieraus folgt:

Beträgt der Widerstand eines jeden Zweiges der Nullpunktschaltung zwei Drittel des für eine gleichgroße Einphasenspannung erforderlichen Wertes, so wird die Widerstands-Konstante für Drehstrom doppelt so groß wie die Widerstands-Konstante für eine gleichgroße Einphasenspannung.

Die sich auf diese Weise ergebenden Werte der Widerstands-Konstante C_D sind in das Schaltbild auf Seite 226 eingetragen.

Die **gemessene Drehstrom-Leistung** ergibt sich dann durch Multiplikation der Angaben des Leistungsmessers mit der Widerstands-Konstante für Drehstrom:

$$\mathbf{P = C_D \cdot c \cdot \alpha} \qquad \textbf{Watt}$$

Da der Strom im Spannungskreise des Leistungsmessers bei Verwendung der normalen Nullpunktwiderstände nur 26 anstatt 30 Milliampere beträgt, wird der Zeigerausschlag des Leistungsmessers bei

vollem Strom, voller Spannung und cos $\varphi = 1$ nur etwa 86,5% der ganzen Skala betragen Der volle Ausschlag wurde daher erst bei einer Uberlastung des Instruments um 13,5% eintreten

b) Meßschaltungen fur die Nullpunkt-Methode

Aus der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Innenschaltung der Nullpunktwiderstande folgt fur die außere Schaltung die Schaltregel

> **Die rot bezeichnete Phase II des Nullpunktwiderstandes ist stets unmittelbar an die 1000-Ohm-Klemme des Leistungsmessers anzuschließen**

Die in der Phase II des Nullpunktwiderstandes fehlenden 1000 Ohm werden dann durch den Widerstand des Prazisions-Leistungsmessers (vgl Seite 33 bzw 57) ersetzt

Fur **direkte Messungen** ist auf Seite 230 eine vollstandige Schaltung angegeben Bei dem Aufbau dieser Schaltung sind außer der obenstehenden Schaltregel noch die allgemeinen Schaltregeln fur den Leistungsmesser der Laboratoriumstype auf Seite 35 zu beachten Die Leistung ergibt sich dann aus dem Zeigerausschlage α des Leistungsmessers durch Multiplikation mit der Instrument-Konstante c fur 1000 Ohm (vgl Seite 34) und der oben bezeichneten Widerstandskonstante C_D fur den gewahlten Drehstrom-Spannungsmeßbereich

$$P = C_D \cdot c \quad \alpha \qquad \text{Watt}$$

Die durch den Eigenverbrauch der Instrumente verursachten Fehler liegen innerhalb der Fehlergrenzen der Meßmethode

Fur **indirekte Messungen** mit Strom- und Spannungswandlern ist die Schaltung auf Seite 231 angegeben Zum Anschluß an die Spannungswandler ist ein besonderer Nullpunktwiderstand fur 90 Volt notwendig, der an die 1000-Ohm-Klemme des Leistungsmessers angeschlossen wird Man kann diesen Widerstand ebenso wie den 90-Volt-Meßbereich des Leistungsmessers dauernd mit 110 Volt uberlasten Durch die Wahl des Meßbereiches 90 Volt fur den Nullpunktwiderstand ergibt sich außer den auf Seite 57 angegebenen noch der weitere Vorteil, daß die Skala des Leistungsmessers, die bei den ubrigen Nullpunktwiderstanden infolge des verkleinerten Spannungsstromes nur bis etwa 86% ausgenutzt werden kann, bei Anschluß des Widerstandes an 100 Volt fast voll

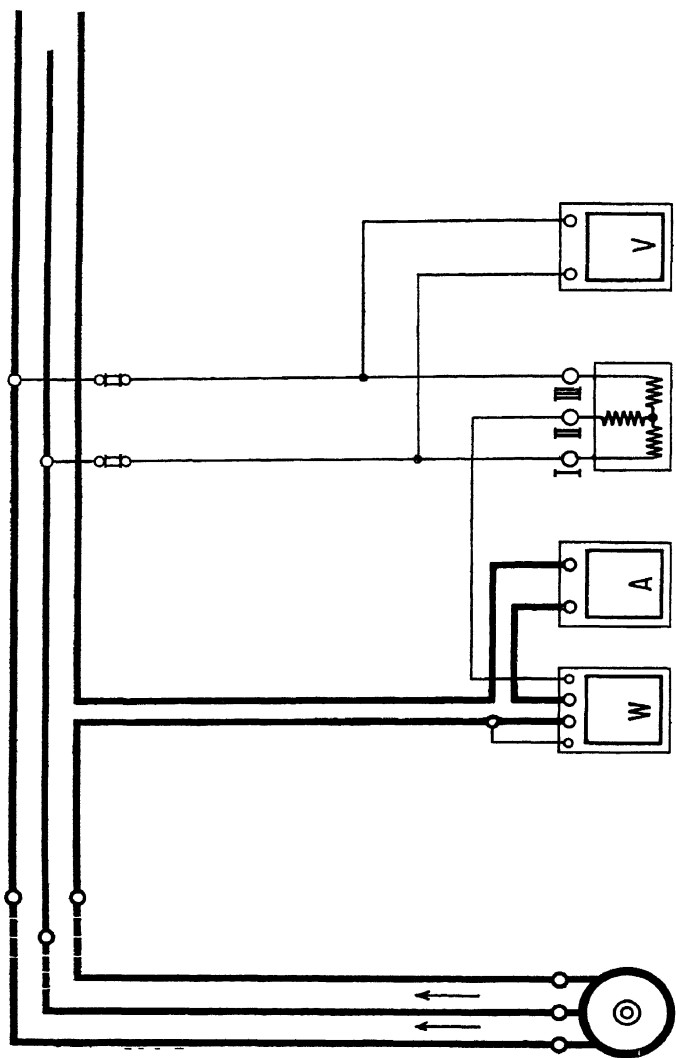
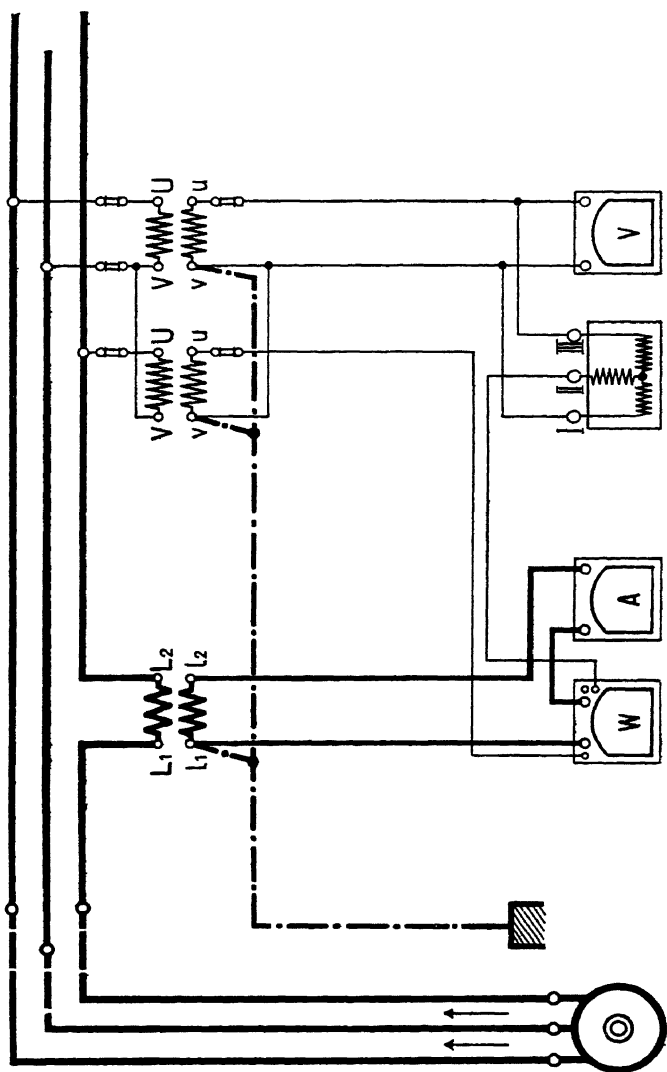
ausgenutzt wird Der Zeiger des Leistungsmessers bleibt trotz der Überlastung des Spannungskreises auf 100 Volt bei vollem Strom und einem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$ noch innerhalb der Skala Die Widerstands-Konstante betragt fur diesen Widerstand $C_D = 6$

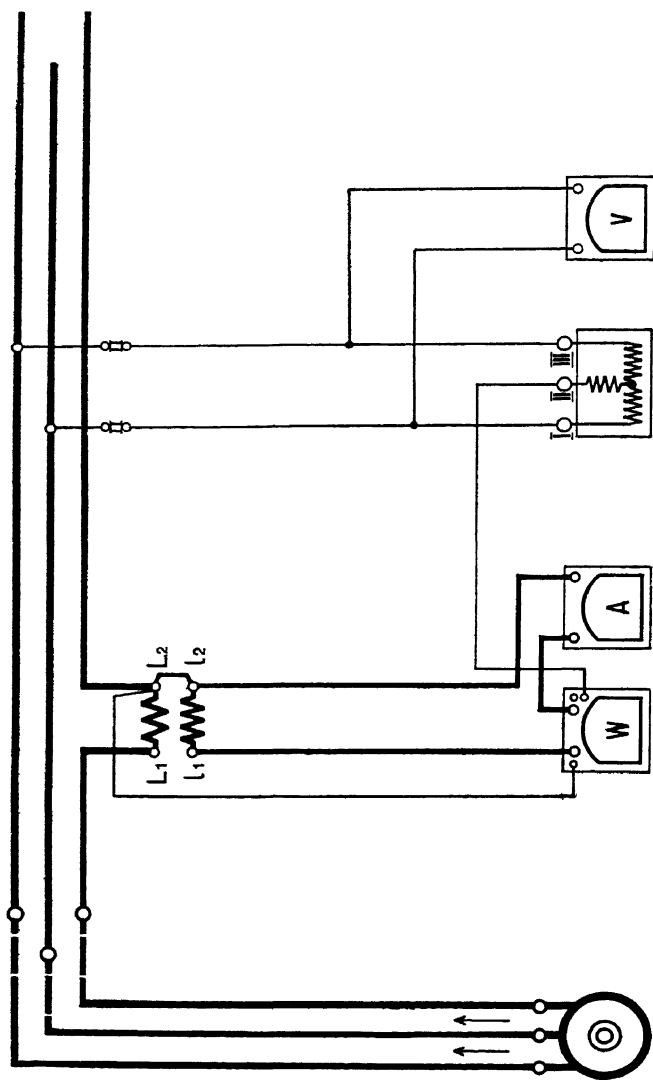
Bei dem Aufbau der Schaltung sind außer den auf Seite 59 angefuhrten Schaltregeln fur den Leistungsmesser der Pruffeldtype noch die Schaltregeln fur Meßwandler (vgl Seite 119) zu beachten Die Leistung ergibt sich aus dem Zeigerausschlage α des Leistungsmessers durch Multiplikation mit der Instrument-Konstante $c = 1$ fur 5 Ampere, 1000 Ohm (vgl Seite 58) und der oben angegebenen Widerstands-Konstante $C_D = 6$ Außerdem ist dieses Produkt noch mit den Übersetzungen der Meßwandler (vgl Seite 128 und 140) zu multiplizieren Dann ergibt sich

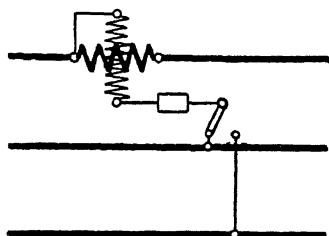
$$P = \frac{I}{5} \cdot \frac{E}{100} \cdot C_D \quad c \quad \alpha \qquad \text{Watt}$$

Es sei noch besonders darauf hingewiesen, daß es nicht moglich ist, den zur Messung erforderlichen Nullpunkt durch Sternschaltung dreier Spannungswandler herzustellen Ein auf diese Weise erzeugter Nullpunkt wurde infolge der verschieden großen Leerlaufstrome der drei Spannungswandler schon an sich kaum symmetrisch liegen Durch den Anschluß der Meßinstrumente wurden die Spannungswandler auch noch unsymmetrisch belastet werden, so daß sich der Nullpunkt noch weiter verschieben wurde Die Sternschaltung dreier Spannungswandler ist daher nur dann zulassig, wenn der primare Sternpunkt der Spannungswandler mit dem vorhandenen Nullpunkt des Drehstrom-Systems verbunden wird

Fur **halbindirekte Messungen** mit Stromwandlern als Strom-Meßbereichwahlern ergibt sich das Schaltbild auf Seite 232 Bei der Ausfuhrung ist besonders die Schaltregel 6 auf Seite 121 zu beachten Die Leistung ergibt sich aus dem Zeigerausschlage α des Leistungsmessers durch Multiplikation mit der Instrument-Konstante $c = 1$ fur 5 Ampere, 1000 Ohm (vgl Seite 58) und der fur den gewahlten Spannungsmeßbereich geltenden Widerstands-Konstante C_D fur Drehstrom Außerdem ist dieses Produkt noch mit der Übersetzung des Stromwandlers (vgl Seite 128) zu multiplizieren Die Leistung wird dann

$$P = \frac{I}{5} \quad C_D \quad c \quad \alpha \qquad \text{Watt}$$

Schaltung fur direkte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Nullpunkt-Methode

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Nullpunkt-Methode.

Schaltung für halbindirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Nullpunkt-Methode, mit Stromwandler als Meßbereichwähler

c) Entwickelung der Leistungsformel für die Spannungsumschalter-Methode.

Setzt man eine gleichmäßige Belastung der drei Phasen des Drehstrom-Systems voraus, so kann man die Leistung des Drehstrom-Systems auch mit einem einfachen Leistungsmesser für Einphasenstrom bestimmen, dessen Stromspule man in eine Stromphase und dessen Spannungskreis man nacheinander an zwei verkettete Spannungen anlegt.

Da die beiden Messungen hierbei nacheinander ausgeführt werden, ist außerdem noch vorauszusetzen, daß sich die Belastung in der Zeit zwischen beiden Messungen nicht erheblich ändert. Diese beiden Voraussetzungen sind jedoch praktisch stets nur annähernd erfüllt, es dürfen daher an die Meßgenauigkeit dieser Schaltung keine hohen Anforderungen gestellt werden. Die Schaltung hat aber den wesentlichen Vorteil, daß sie mit den einfachsten Hilfsmitteln arbeitet, da außer dem Leistungsmesser für Einphasenstrom nur noch ein einfacher, überall leicht zu beschaffender Spannungsumschalter erforderlich ist. Aus diesem Grunde wird diese Schaltung bei gelegentlichen Motoruntersuchungen in vielen Fällen einen willkommenen Ausweg bieten.

Das Verhalten des Leistungsmessers in dieser Schaltung geht aus dem auf Seite 182 angegebenen Vektordiagramm ohne weiteres hervor. Vergleicht man dieses Vektordiagramm mit dem auf Seite 177 angegebenen Diagramm der Zwei-Leistungsmesser-Methode, so sieht man, daß in beiden Schaltungen die Ausschläge α_1 genau die gleichen sind, da sie von dem gleichen Strome und der gleichen Spannung bei derselben Phasenverschiebung erzeugt werden. Bei den Ausschlägen α_2 herrscht in beiden Schaltungen ebenfalls die gleiche Phasenverschiebung, jedoch werden andere Ströme und Spannungen für die Messung benutzt. Setzt man voraus, daß die drei Ströme und die drei Spannungen des Drehstrom-Systems gleich groß sind, so werden auch die in beiden Schal-

tungen gemessenen Ausschlage α_2 gleich groß Die Gesamtleistung er-
gibt sich demnach bei der Spannungsumschalter-Methode in der gleichen Weise wie bei der Zwei-Leistungsmesser-Methode aus den bei den beiden Schalterstellungen auftretenden Zeigerausschlagen α_1 und α_2 Ist der Netzleistungsfaktor großer als $\cos \varphi = 0{,}5$, so ist die Gesamtleistung

$$P = C \quad c \quad (\alpha_1 + \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Ist dagegen der Netzleistungsfaktor kleiner als $\cos \varphi = 0{,}5$, so kehrt der eine Zeigerausschlag seine Richtung um, d h er wird negativ Die Gesamtleistung ist dann

$$P = C \quad c \quad (\alpha_1 - \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Die Große des Netzleistungsfaktors ergibt sich einfach aus dem Verhaltnis $\alpha_1 \quad \alpha_2$, wie auf Seite 181 angegeben ist

d) Meßschaltungen fur die Spannungsumschalter-Methode

Fur **direkte Messungen** ist auf Seite 235 eine vollstandige Meß-schaltung angegeben Bei dem Aufbau der Schaltung sind die Schalt-regeln auf Seite 35 bzw 76 zu beachten Die Leistung ergibt sich aus den beiden Zeigerausschlagen des Leistungsmessers in gleicher Weise wie bei der Zwei-Leistungsmesser-Methode (vgl Seite 184)

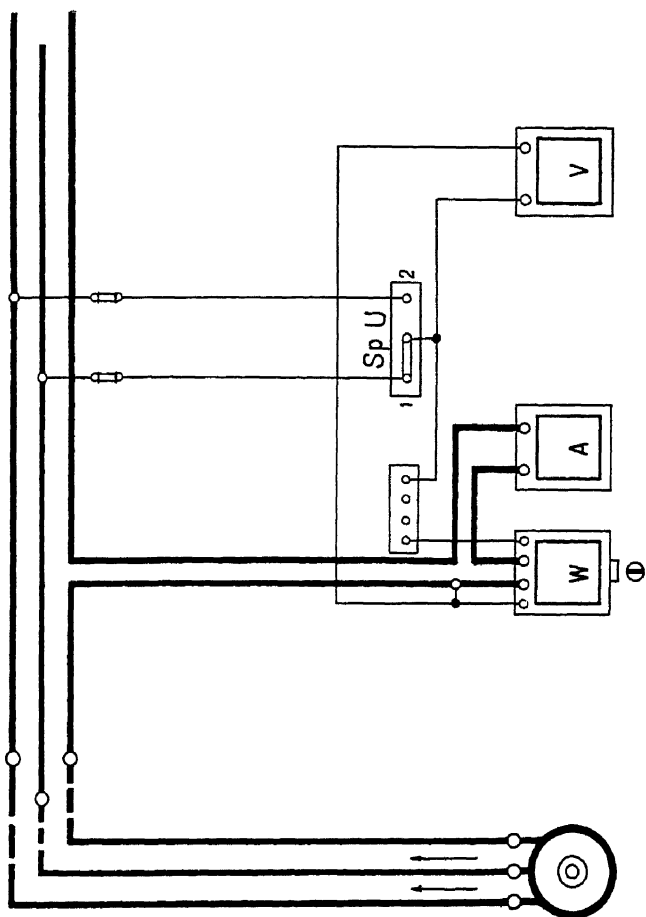
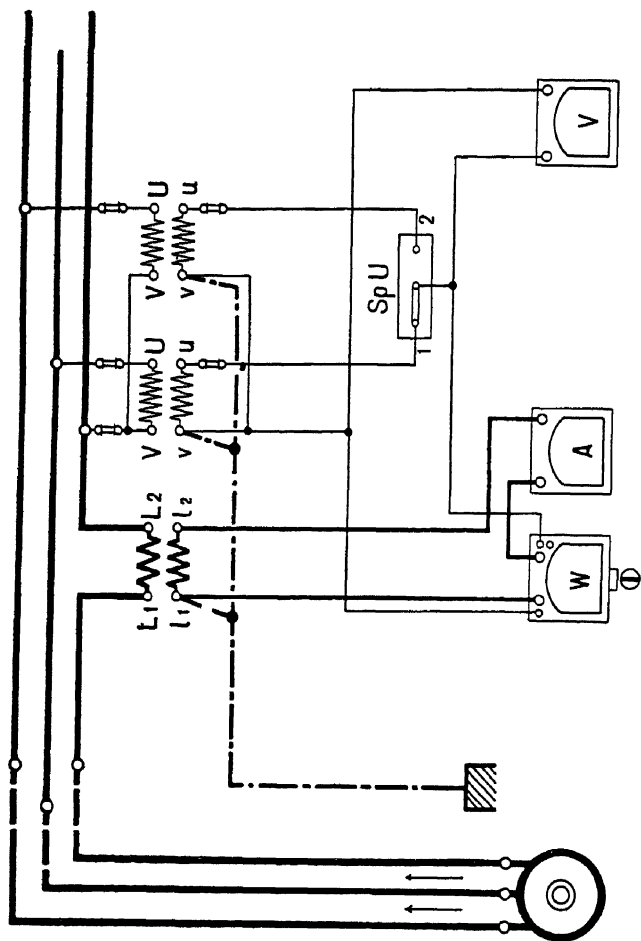
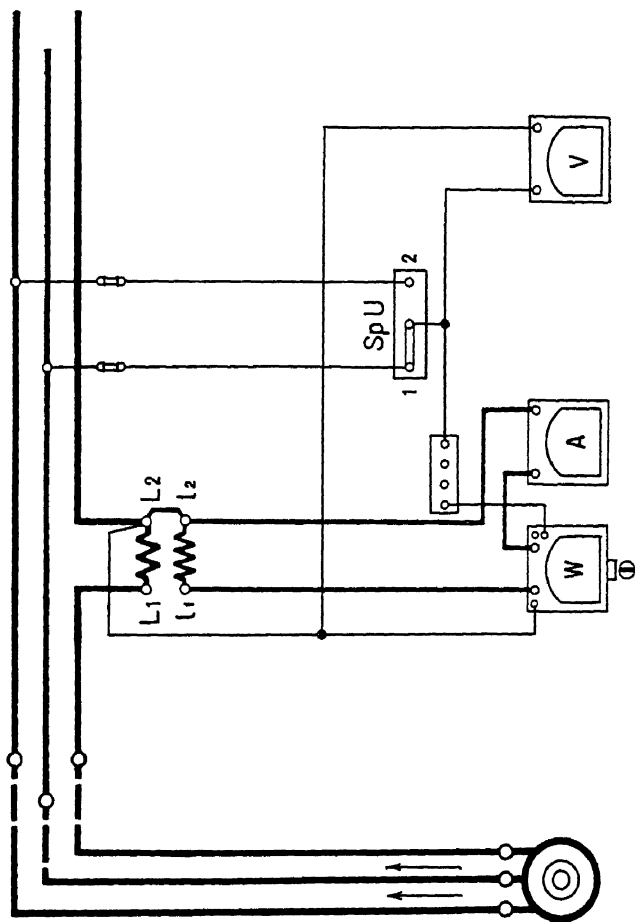
$$P = C \quad c \quad (\alpha_1 \pm \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Fur **indirekte Messungen** ist das Schaltbild auf Seite 236 ange-geben Bei dem Aufbau der Schaltung sind außer den Schaltregeln auf Seite 59 bzw 76 noch die Schaltregeln fur Meßwandler auf Seite 119 zu beachten Die gemessene Leistung berechnet man in gleicher Weise, wie auf Seite 187 angegeben ist

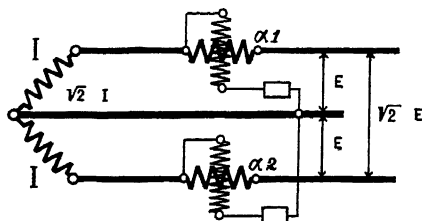
$$P = \frac{I}{5} \quad \frac{E}{100} \cdot c \quad (\alpha_1 \pm \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Fur **halbindirekte Messungen** ist endlich auf Seite 237 die Schal-tung angegeben Bei der Schaltung ist besonders die Schaltregel 6 auf Seite 121 zu beachten Die Leistung ergibt sich wie auf Seite 194

$$P = \frac{I}{5} \cdot C \quad c \quad (\alpha_1 \pm \alpha_2) \qquad \text{Watt.}$$

Die beiden Ausschlage α_1 und α_2 sind zu addieren, wenn man bei den beiden Messungen gleichgerichtete Ausschlage erhalt Muß man dagegen bei einer der beiden Messungen den Spannungskreis mittels des ein-gebauten Spannungswenders umkehren, so ist der kleinere Ausschlag vom großeren zu subtrahieren

Schaltung für direkte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Spannungsumschalter-Methode

Schaltung für indirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Spannungsumschalter-Methode

Schaltung für halbindirekte Drehstrom-Leistungsmessungen nach der Spannungsumschalter-Methode

E. Zweiphasenstrom-Leistungsmessungen.

Die Leistung eines Zweiphasen-Systems ist gleich der Summe der Leistungen der zwei Phasen Man kann daher die Leistung durch zwei Wattmessungen bestimmen

Wie man aus dem Schaltbild ersieht, entspricht äußerlich die Schaltung der auf Seite 176 beschriebenen Zwei-Leistungsmesser-Methode, man muß nur darauf achten, daß die beiden Leistungsmesser in die beiden Außenleiter des Zweiphasen-Systems eingeschaltet werden Unter dieser Voraussetzung gilt für direkte Messungen das Schaltbild auf Seite 185, für indirekte Messungen das auf Seite 189 und für halbindirekte Messungen das auf Seite 195 Die Gesamtleistung ist in jedem Falle gleich der Summe der beiden Einzelleistungen, also

bei direkten Messungen (vgl Seite 159)

$$P = C \; c \; (\alpha_1 + \alpha_2) \qquad \text{Watt,}$$

bei indirekten Messungen (vgl Seite 164)

$$P = \frac{I}{5} \; \frac{E}{100} \; c \; (\alpha_1 + \alpha_2) \qquad \text{Watt,}$$

bei halbindirekten Messungen (vgl Seite 169)

$$P = \frac{I}{5} \; C \; c \; (\alpha_1 + \alpha_2) \qquad \text{Watt}$$

Ein bestimmtes Verhältnis der Ausschläge α_1 α_2 besteht naturgemäß nicht, da die Belastung der beiden Phasen willkürlich ist

Sind die beiden Phasen annähernd gleich belastet, so ist der mittlere Leistungsfaktor des Systems

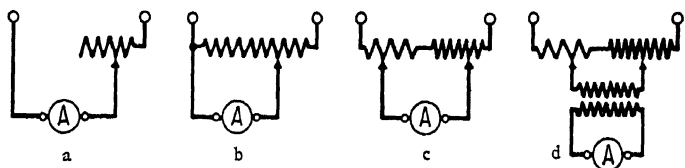
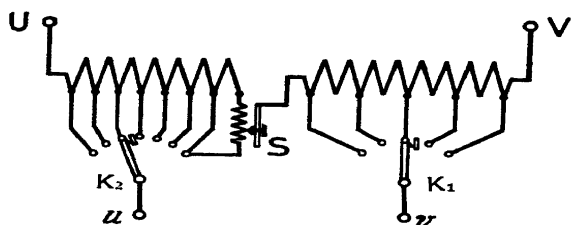
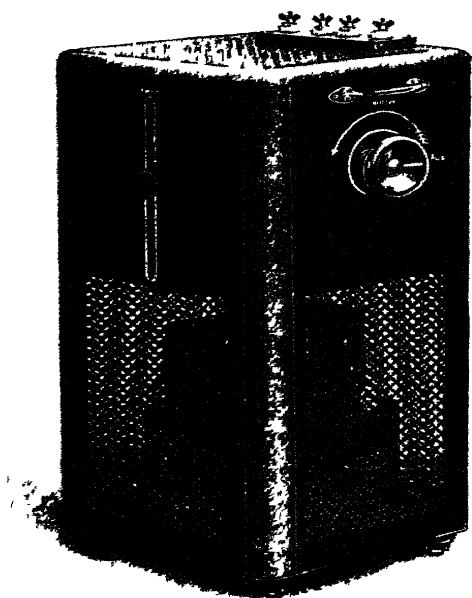
$$\cos \varphi_{\text{mittel}} = \frac{P}{2 \; E_{\text{mittel}} \; I_{\text{mittel}}}$$

Bei ungleich belasteten Phasen kann man nur die Leistungsfaktoren der beiden einzelnen Phasen bestimmen

F. Wechselstrom-Eichschaltungen.

Bei Meßschaltungen zum Eichen von Leistungsmessern und Elektrizitatszahlern verwendet man zweckmaßig fur den Stromkreis und fur den Spannungskreis der Meßgerate zwei getrennte Stromerzeuger Eine derartige Trennung der Stromkreise bietet zunachst den Vorteil, daß der Energieverbrauch fur die Eichung ganz wesentlich herabgesetzt wird, da hierbei die großen Stromstarken nur mit kleiner Spannung und die hohen Spannungen nur mit kleiner Stromstarke geliefert werden Weiterhin gibt diese Schaltung noch die Moglichkeit, auf einfachste Weise jede beliebige Phasenverschiebung zwischen dem Stromkreis und dem Spannungskreis der Meßinstrumente zu erzeugen

a) Regelung der Stromstarke

Die einfachste Art der Stromregelung ist die unter Schaltung a angegebene Regelung mit Vorschaltwiderstanden Diese hat jedoch den Nachteil, daß ein allmahliches Herabgehen bis auf Stromstarke Null nicht moglich ist, weil hierbei der Vorschaltwiderstand unendlich groß

werden mußte Dieser Nachteil wird vermieden, wenn man an Stelle des Vorschaltwiderstandes einen Spannungsteilerwiderstand nach Schaltung b vorsieht, da man hierbei ohne weiteres die Spannung am zu eichenden Instrument und damit auch den Strom auf Null herabregeln kann Man fuhrt diesen Spannungsteiler zweckmaßig so aus, daß man einen grob und einen fein geteilten Widerstand fur die Grob- und Feinregelung nach Schaltung c in Reihe schaltet Um mit einem solchen Spannungsteiler eine sichere Einstellung zu erzielen, muß jedoch der gesamte vom Spannungsteiler aufgenommene Strom erheblich großer sein als der abgezweigte Nutzstrom Es werden daher hierbei stets erhebliche Energiemengen nutzlos vergeudet Man kann

Reguliertransformator
zur Regelung des Eichstromkreises

UV = Netzanschluß
K_1 = Kurbel fur Grobregelung
K_2 = Kurbel fur mittelfeine Regelung
S = Schiebewiderstand fur Feinregelung

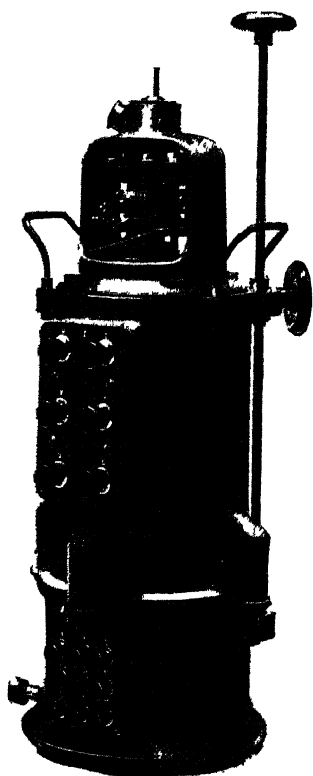
diesen Ubelstand beseitigen, wenn man an Stelle des Spannungsteilerwiderstandes einen Spannungsteilertransformator, einen sog Reguliertransformator, verwendet Dieser wird meistens als Spartransformator mit nur einer vielfach unterteilten Wickelung ausgefuhrt, so daß man beliebig viele Windungen fur die sekundare Abzweigung benutzen kann Die Grundschaltung bleibt hierbei die gleiche wie bei Schaltung c

Um den mit der Eichschaltung einstellbaren Hochststrom ohne Energievergeudung beliebig vergroßern zu konnen, schaltet man zwischen Reguliertransformator und Meßinstrument bzw zwischen Spannungsteilerwiderstand und Meßinstrument einen sog Eich-Stromtransformator zum Hinauftransformieren der Stromstarke auf den gewunschten Hochstbetrag Durch diesen Stromtransformator ergibt sich außer der Energieersparnis noch der weitere Vorteil, daß alle zur Regelung dienenden Schalter nur verhaltnismaßig geringe Strome fuhren

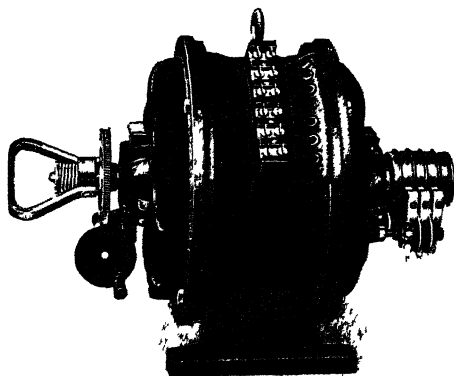
b) Regelung der Spannung.

Bei der Regelung der fur die Eichung erforderlichen Spannung genugt meistens ein verhaltnismaßig kleiner Regelbereich, man kann daher stets mit einfachen Vorschaltwiderstanden auskommen Bei Verwendung einer besonderen Maschine zur Spannungserzeugung laßt sich uberdies die Spannung durch Andern der Erregung der Maschine in sehr weiten Grenzen andern Transformatoren zur Erhohung der Eichspannung werden in den meisten Fallen nicht erforderlich sein

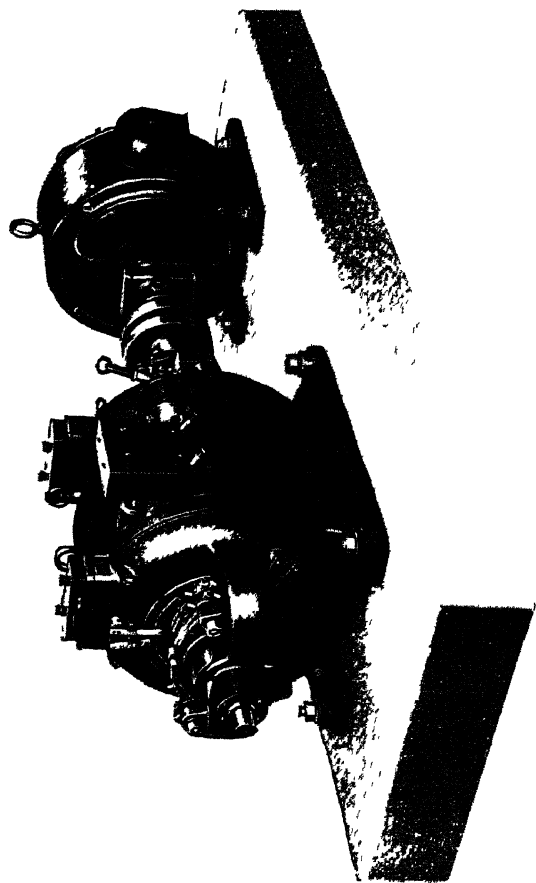
c) Regelung der Phasenverschiebung

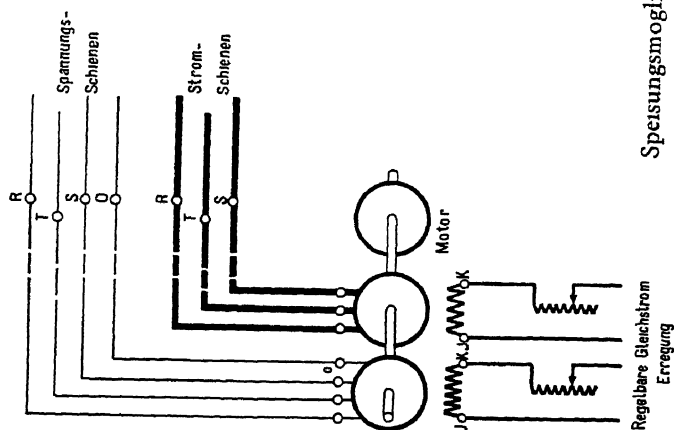
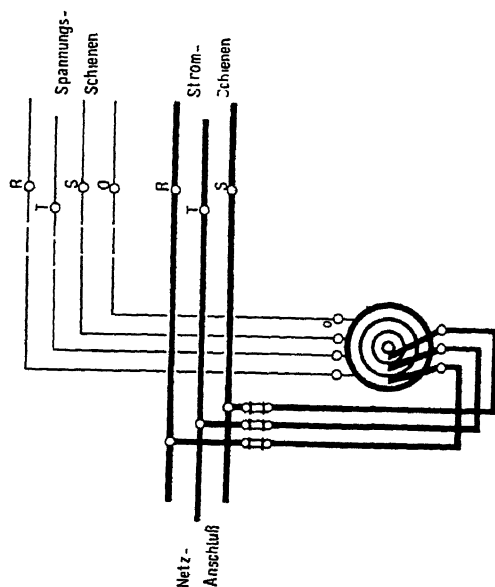
Die einfachste Art der Herstellung einer bestimmten Phasenverschiebung, also die Belastung des Stromkreises mit einem entsprechenden induktiven Widerstand, ist wegen der Schwierigkeit der Einstellung und der Abhangigkeit der eingestellten Phasenverschiebung von der jeweiligen Stromstarke der Eicheinrichtungen nicht anwendbar Man geht daher zweckmaßig vom entgegengesetzten Gesichtspunkt aus Man verschiebt nicht den Strom gegen die ihn erzeugende Spannung, sondern benutzt fur den Strom- und Spannungskreis der Eichschaltung zwei getrennte elektromotorische Krafte und verschiebt diese gegeneinander Man erreicht dies durch Verwendung zweier auf derselben Achse sitzenden Generatoren, einer sog Strommaschine und einer Spannungsmaschine Hierbei ordnet man das Standergehause einer dieser beiden Maschinen drehbar an Die raumliche Verschiebung des drehbaren Standergehauses gegen das feststehende

Stehende Eichmaschine

Die Eichmaschine besteht aus drei übereinander angeordneten Maschinen, einem Gleichstrom-Nebenschlußmotor, einer ein- oder dreiphasigen Strommaschine und einer dreiphasigen Spannungsmaschine Der Ständer der Spannungsmaschine kann gegen den der Strommaschine um 90° verdreht werden

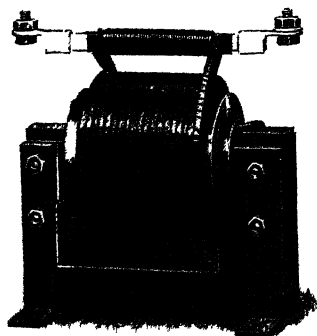
ist dann der elektrischen Phasenverschiebung der von beiden Maschinen erzeugten elektromotorischen Krafte direkt proportional [Die Frequenz-gleichheit der beiden Spannungen ist hierbei durch die direkte Kuppelung der beiden Maschinen gewahrleistet

Phasenregler mit Hand-Antrieb

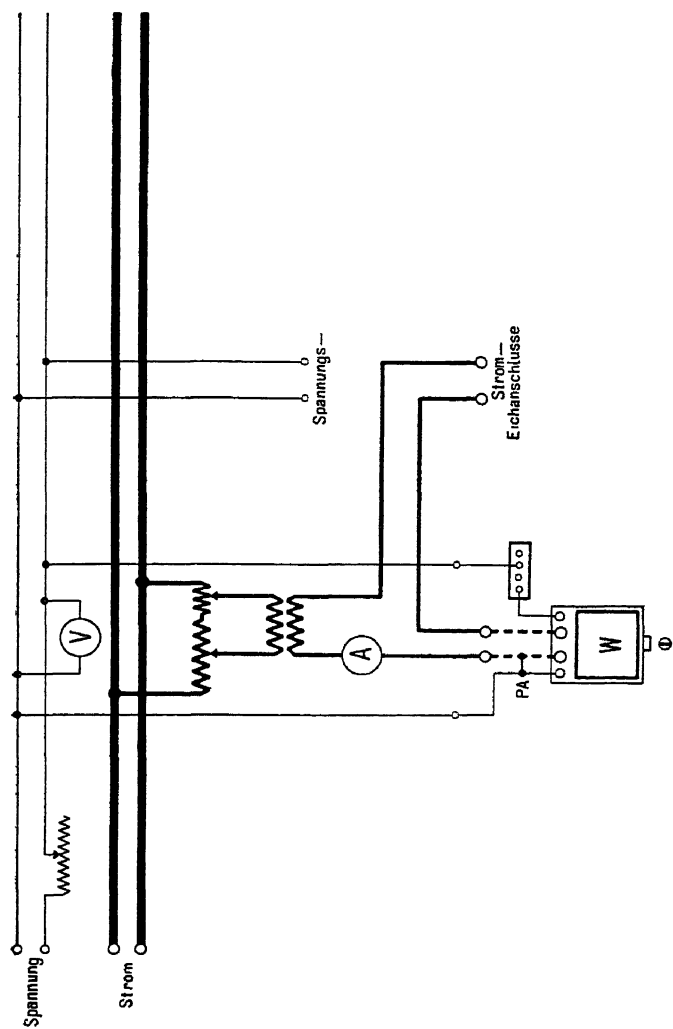
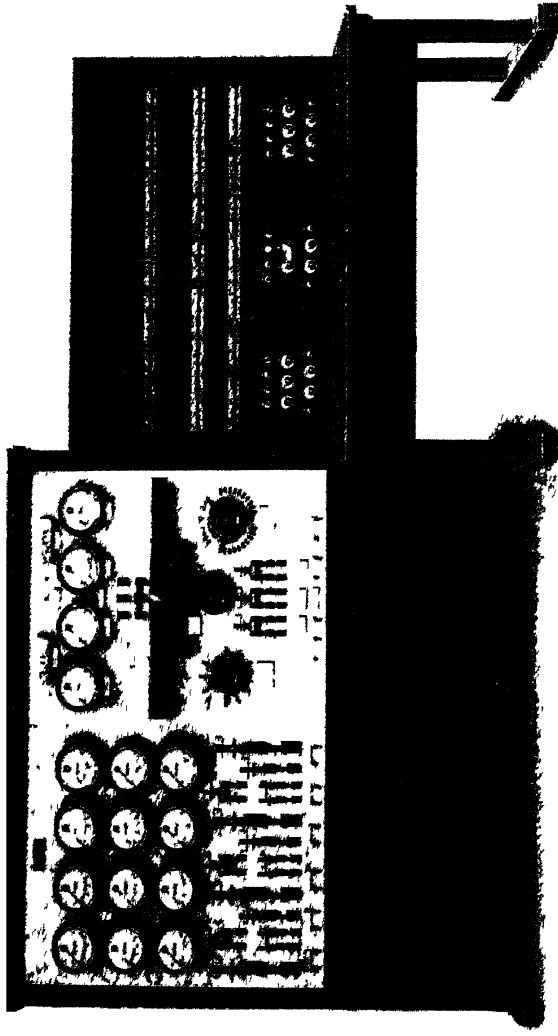
Ist Drehstrom vorhanden, so ergibt sich eine weitere Moglichkeit der Regelung der Phasenverschiebung durch den sog Phasenregler Dies ist ein nach Art des Drehstrommotors gebauter Drehfeld-Transformator Der Primarstrom wird hierbei aus konstruktiven Rucksichten meistens dem mechanisch festgehaltenen Laufer des Motors zugefuhrt, wahrend der Sekundarstrom der Standerwickelung entnommen wird Da bei dem Drehfeld-Transformator eine raumliche Verdrehung des Laufers gegen den Stander einer zeitlich-raumlichen Verschiebung des induzierenden Drehfeldes gegen die induzierte Standerwickelung entspricht, kann man durch einfaches Verdrehen des Laufers das induzierende Feld und damit die im Stander induzierte elektromotorische Kraft in der Phase beliebig verschieben, d h man kann dem Phasenregler eine beliebig gegen die Netzspannung verschobene elektromotorische Kraft entnehmen

Die sich hieraus ergebenden Speisungs-Moglichkeiten fur Eichschaltungen sind auf Seite 245 angegeben Die Schaltbilder sind so dargestellt, daß sie ohne weiteres an die Drehstrom-Eichschaltungen auf Seite 251 bis 254 angesetzt werden konnen

Liegender Eichumformer
(Modell der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt)

Die links liegende Doppelmaschine besteht aus einer Strommaschine und einer Spannungsmaschine mit drehbarem Ständer. Die beiden Maschinen werden durch den rechts liegenden Motor angetrieben

Speisungsmöglichkeiten der Drehstrom-Eichschaltungen

d) Eichschaltung für Einphasenstrom

Bei Einphasenstrom ist für die Speisung der Eicheinrichtung stets ein Doppelgenerator erforderlich (vgl. Abschnitt c). Die Regelung des Stromes erfolgt hierbei zweckmäßig durch einen Reguliertransformator (vgl. Seite 241). Bei kleinen Stromstärken speist man den Eichstromkreis unmittelbar mit diesem Reguliertransformator, während man bei größeren Stromstärken zur Erhöhung des verfügbaren Eichstromes noch einen Eich-Stromtransformator, wie im Schaltbild angegeben, zwischenschaltet.

Die Ausführung eines solchen Stromtransformators geht aus der vorstehenden Abbildung hervor. Für die Spannungsregelung reicht ein einfacher Vorschaltwiderstand aus. Die Regelung der Phasenverschiebung endlich erfolgt durch gegenseitiges Verdrehen der Ständer der Strommaschine und der Spannungsmaschine.

Für die Messung der Leistung ist im Schaltbild ein Präzisions-Leistungsmesser vorgesehen. Für die Strom- und Spannungsmessungen dagegen genügen in den meisten Fällen einfache Schalttafel-Instrumente, da diese Größen nur Nebenumstände der eigentlichen Leistungsmessung darstellen. Bei der Ausführung der Schaltung ist besonders auf die Einhaltung der Schaltregel 1 (vgl. Seite 35) zu achten, da diese für das richtige Anzeigen des Präzisions-Leistungsmessers Grundbedingung ist. Diese Schaltregel wird in einfacher Weise durch die Potential-Ausgleichverbindung PA am Leistungsmesser erfüllt, durch die der Stromkreis mit dem Spannungskreis einpolig verbunden wird.

Einphasenstrom-Eichschaltung mit getrenntem Strom- und Spannungskreis

Zählerprüfeinrichtung für Einphasenstrom und Drehstrom
mit 3 Eichplätzen Der Eichstromkreis und der Eichspannungskreis sind dreiphasig mit Nulleiter ausgeführt Die für den Stromkreis erforderlichen Apparate sind auf dem linken Felde, die für den Spannungskreis auf dem rechten Felde der Bedienungsschalttafel angebracht

c) Eichschaltung fur Drehstrom

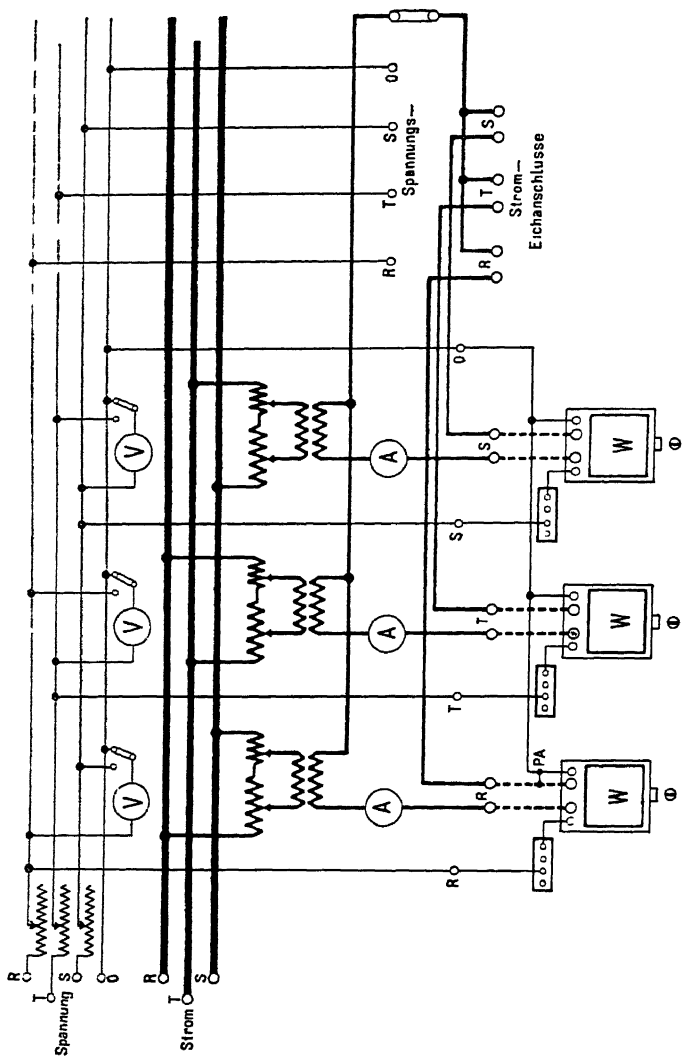
Bei Drehstrom kann die Speisung der Eichschaltung sowohl mit einem Doppelgenerator als auch mit einem Phasenregler vorgenommen werden Wegen der beliebigen Regelmoglichkeit ist indessen in den meisten Fallen der allerdings auch kostspieligere Doppelgenerator vorzuziehen Die Eichschaltung wird zweckmaßig gleich fur Dreileiter- und Vierleiter-Drehstrom vorgesehen, d h sie wird symmetrisch fur alle drei Phasen durchgefuhrt Fur die Regelung der Stromstarke sind demgemaß in den folgenden Schaltbildern stets drei Reguliertransformatoren mit Eich-Stromtransformatoren vorgesehen Die Reguliertransformatoren liegen an den verketteten Spannungen der Strommaschine, wahrend die Stromtransformatoren in Sternschaltung miteinander verbunden sind Durch den auf der rechten Seite des Schaltbildes eingezeichneten Schalter kann der Sternpunkt der Stromtransformatoren mit dem Sternpunkt der ebenfalls in Sternschaltung liegenden Meßinstrumente verbunden werden Ist der Schalter offen, so stellt der Eich-Stromkreis ein Drehstrom-Dreileitersystem dar, ist der Schalter geschlossen, so hat man ein Drehstrom-Vierleitersystem mit Null-Leiter Das Spannungs-System ist von vornherein als Drehstrom-Vierleitersystem ausgefuhrt Die Regelung erfolgt hierbei durch einfache Vorschaltwiderstande in den drei Phasen Um sowohl die verketteten Spannungen als auch die Phasenspannungen messen zu konnen, liegen die Spannungsmesser an Umschaltern Die Spannungsmesser selbst sind ebenso wie die Strommesser einfache Schalttafel-Instrumente, wahrend die Leistungsmesser Prazisions-Instrumente sind

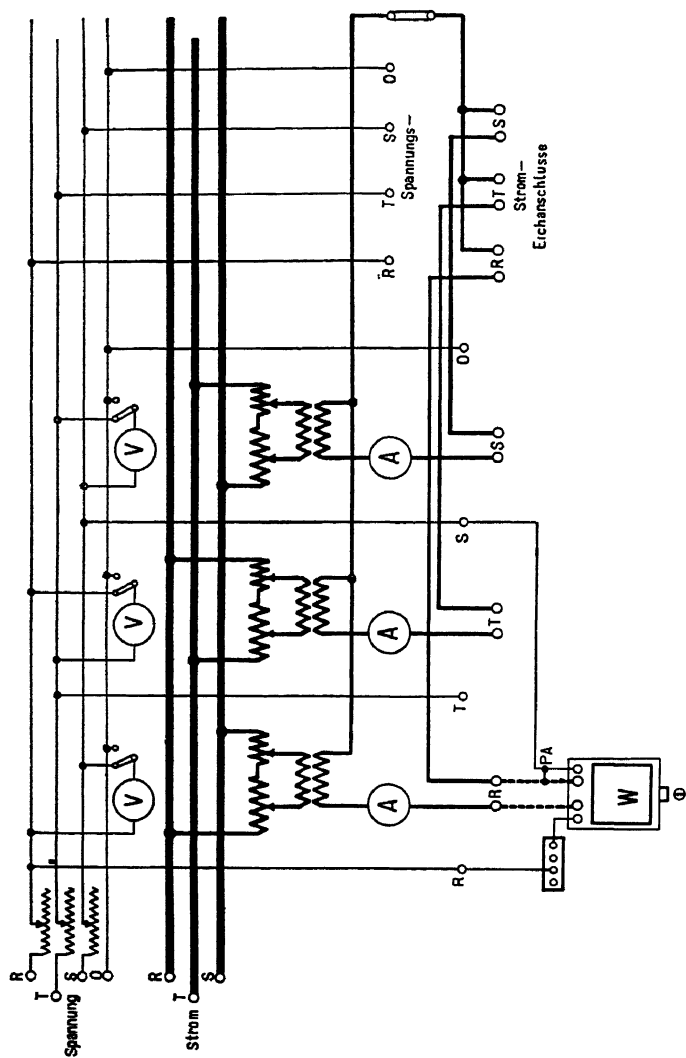
Das Schaltbild auf Seite 251 zeigt die Verwendung dieser Schaltung fur Dreileiter-Drehstrom, wahrend auf Seite 252 dieselbe Grundschaltung fur Vierleiter-Drehstrom benutzt wird Das Einhalten der Schaltregel 1 fur Prazisions-Leistungsmesser (vgl Seite 35) macht bei Drehstrom zunachst einige Schwierigkeiten Wurde man bei der Eichschaltung in der gleichen Weise wie bei den auf Seite 185 und 206 angegebenen Meßschaltungnn an allen Leistungsmessern die linke Spannungsklemme mit der linken Stromklemme verbinden, so wurde dies einen Kurzschluß des ganzen Spannungs-Systems zur Folge haben, da bei der Eichschaltung alle Stromspulen der Leistungsmesser auf annahernd dem gleichen Potential liegen Man muß daher bei der Eichschaltung in anderer Weise vorgehen Nach der Schaltregel 1 mussen die Spannungsspulen der Leistungsmesser stets das gleiche Potential erhalten wie die

zugehorigen Stromspulen Da die Stromspulen aber bei der Eich-schaltung alle auf annahernd gleichem Potential liegen, kann diese Bedingung nur dadurch erfullt werden, daß man auch samtliche Span-nungsspulen auf ebendasselbe gleiche Potential bringt Dies ist ohne weiteres moglich, wenn man entgegen der bisherigen Gepflogenheit die Vorschaltwiderstande an die **linke** Klemme der Leistungsmesser an-schließt Dann liegen alle Spannungsspulen unmittelbar an der fur alle Spannungskreise gemeinsamen Leitung T bzw O Man braucht diese gemeinsame Leitung dann nur noch mit **einem** Punkte des Strom-systems zu verbinden, wie es durch die Verbindung PA in den Schalt-bildern auf Seite 251 und 252 geschehen ist Naturgemaß darf diese Verbindung nur an **einem** Leistungsmesser ausgefuhrt werden Die Ausfuhrung der Potential-Ausgleichverbindung PA setzt voraus, daß man, wie es bei Zahlereichungen stets ublich ist, an dem zu eichenden Zahler alle betriebsmaßig bestehenden Verbindungen zwischen Strom- und Spannungsspulen beseitigt Bei direkter Benutzung der Regulier-transformatoren ohne Eich-Stromtransformatoren kann die gleiche Potential-Ausgleichverbindung angewendet werden In diesem Falle ist die Potentialdifferenz nur in einem Leistungsmesser gleich Null, in den anderen Leistungsmessern dagegen hochstens gleich der Spannung des Eich-Stromkreises, also etwa 100 Volt, was ohne weiteres zu-lassig ist

Auf Seite 253 ist die Verwendung der gleichen Eichschaltung fur eine Messung nach der Nullpunkt-Methode gezeigt Da der Null-punkt des hierzu erforderlichen Nullpunktwiderstandes nicht zu-ganglich ist, kann man bei der vorhandenen Polarisierung der Leistungs-messer (vgl Schaltregel 2 auf Seite 35) den Nullpunktwiderstand nur an die rechte Spannungsklemme des Leistungsmessers anschließen Die Potential-Ausgleichverbindung PA muß daher hierbei wie im Schaltbild an der linken Spannungsklemme des Leistungsmessers angebracht werden

Endlich ist auf Seite 254 die Verwendung der Drehstrom-Eich-schaltung fur Einphasenstrom-Leistungsmessungen dargestellt Die Lage des Vorschaltwiderstandes ist hierbei an sich beliebig, jedoch wird man bei einer Drehstrom-Eichschaltung zweckmaßig den Vorschaltwiderstand ebenso wie bei den Schaltbildern auf Seite 251 und 252 an die linke Spannungsklemme des Leistungsmessers anschließen und die Potential-Ausgleichverbindung auf der rechten Seite anbringen

Drehstrom=Eichschaltung Messung nach der Zwei=Leistungsmesser=Methode.

Drehstrom-Eichschaltung   Messung nach der Drei-Leistungsmesser-Methode

Drehstrom-Eichschaltung Messung nach der Nullpunkt-Methode

Drehstrom-Eichschaltung   Verwendung der Eichschaltung für Einphasen-Leistungsmessungen

Anhang.

Präzisions-Drehspul=Instrumente für Gleichstrom.

1. Allgemeines.

a) Prinzip des Drehspul=Systems.

Die Präzisions=Drehspul=Instrumente sind nach dem Prinzip von Deprez=d'Arsonval gebaut. Das Meßsystem ist eine Drehspule, die im homogenen Felde eines Dauermagneten drehbar angeordnet ist. Der zu messende Strom wird dieser Drehspule durch zwei Systemfedern zu=geführt, die gleichzeitig die mechanische Gegenkraft für das System liefern. Da das Drehmoment dem Strom in der Drehspule proportional ist, wird der Zeigerausschlag direkt proportional den zu messenden Größen, d. h. die Instrumente erhalten eine von Null an vollkommen gleichmäßig unterteilte Skala. Infolge der festliegenden Polung des Stahlmagneten ist durch eine bestimmte Stromrichtung in der Drehspule auch eine bestimmte Drehrichtung des beweglichen Systems gegeben. Die Instrumente können daher nur für Gleichstrom benutzt werden.

b) Ausführung der Skala.

Die Skala der Präzisions=Gleichstrom=Instrumente ist zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit mit einem Spiegel unterlegt. Der Zeiger ist als Schneidenzeiger ausgeführt. Die Unterteilung der Skala ist vollkommen gleichmäßig, jede Skala ist in 150 etwa 1 mm breite Skalenteile geteilt.

Die Skalenteile sind, unabhangig von dem jeweiligen Meßbereich, stets von 0 bis 150 beziffert Die am Instrument erhaltenen Ablesungen konnen bei besonders genauen Messungen noch durch Anbringen der auf den Korrektionstabellen (vgl Seite 17) angegebenen Korrekturen verbessert werden Der gemessene Strom oder die gemessene Spannung ergibt sich durch Multiplikation der Ablesung mit der durch den Meßbereich gegebenen Instrument-Konstante

c) Aufstellung der Instrumente.

Bei der Messung soll das Instrument auf einem annahernd wagerechten Tische liegen In geneigter Lage sollen die Instrumente tunlichst nicht verwendet werden, da hierdurch die Lagerreibung des Systems vergroßert und seine Auswagung durch einseitigen Durchhang der Systemfedern gestort wird Auch werden sich etwaige kleine Auswagungsfehler, die bei wagerechter Lage belanglos sind, bei der Neigung storend bemerkbar machen Die Transportkasten sind so eingerichtet, daß die Instrumente wahrend der Messung im Kasten verbleiben konnen

Das Putzen der Glasscheibe des Instruments unmittelbar vor der Messung ist zu vermeiden, da durch das Reiben mit einem trockenen Tuch leicht elektrostatische Ladungen hervorgerufen werden, die den Zeigerausschlag beeinflussen Man beseitigt diese Ladungen, indem man die Glasscheibe leicht anhaucht

Um die gegenseitige Beeinflussung mehrerer nebeneinander aufgestellten Instrumente zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Prazisions-Drehspul-Instrumente in Abstanden von mindestens 50 cm von Mitte zu Mitte der Instrumente aufzustellen (Bei Doppelinstrumenten mit zwei dicht nebeneinander eingebauten Meßsystemen ist die gegenseitige Beeinflussung bei der Eichung berucksichtigt)

Eine bei großeren Stromstarken mogliche Beeinflussung durch die Starkstromleitungen vermeidet man durch genugend lange Zuleitungen zwischen Nebenschluß-Widerstand und Instrument

Ein Ausrichten des Instruments nach dem Meridian ist meist unnotig, da der durch erdmagnetischen Einfluß verursachte Fehler hochstens 0,1 % betragt Bei der Aufnahme der Korrektionstabelle wird das Instrument so aufgestellt, daß der auf Teilstrich 75 stehende Zeiger des Instruments im magnetischen Meridian liegt

Bei Hochspannung ist jedes Beruhren der metallischen Kappe zu vermeiden

---

Präzisions-Drehspul-Instrumente für Gleichstrom.

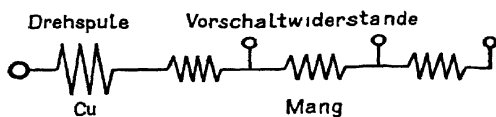
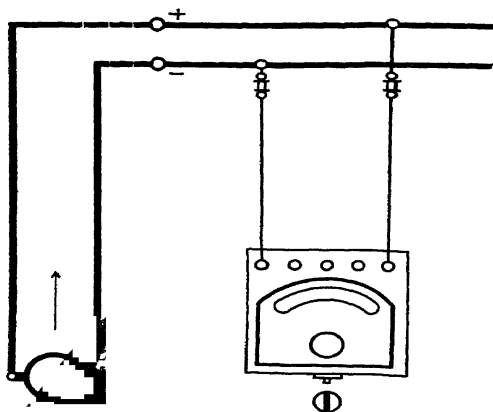
1. Allgemeines.

a) Prinzip des Drehspul-Systems.

Die Prazisions-Drehspul-Instrumente sind nach dem Prinzip von Deprez-d'Arsonval gebaut Das Meßsystem ist eine Drehspule, die im homogenen Felde eines Dauermagneten drehbar angeordnet ist Der zu messende Strom wird dieser Drehspule durch zwei Systemfedern zugefuhrt, die gleichzeitig die mechanische Gegenkraft fur das System liefern Da das Drehmoment dem Strom in der Drehspule proportional ist, wird der Zeigerausschlag direkt proportional den zu messenden Großen, d h die Instrumente erhalten eine von Null an vollkommen gleichmaßig unterteilte Skala Infolge der festliegenden Polung des Stahlmagneten ist durch eine bestimmte Stromrichtung in der Drehspule auch eine bestimmte Drehrichtung des beweglichen Systems gegeben Die Instrumente konnen daher nur fur Gleichstrom benutzt werden

b) Ausführung der Skala.

Die Skala der Prazisions-Gleichstrom-Instrumente ist zur Erhohung der Ablesegenauigkeit mit einem Spiegel unterlegt Der Zeiger ist als Schneidenzeiger ausgefuhrt Die Unterteilung der Skala ist vollkommen gleichmaßig, jede Skala ist in 150 etwa 1 mm breite Skalenteile geteilt

Prazisions=Spannungsmesser fur Gleichstrom

Innenschaltung eines Gleichstrom=Spannungsmessers
mit mehreren Meßbereichen

b) Außere Schaltung.

Der Spannungsmesser wird an die Punkte angelegt, deren Spannungsunterschied gemessen werden soll Hierbei ist sowohl die Große wie die Polung der zu messenden Spannung zu beachten

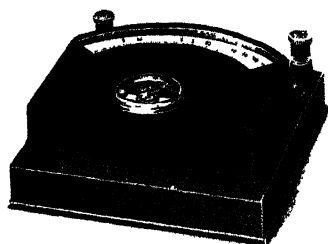
Die linke Klemme des Instruments ist die gemeinsame Klemme fur alle Meßbereiche Die ubrigen Klemmen entsprechen den verschiedenen Meßbereichen und sind mit den Hochstwerten fur die einzelnen Meßbereiche bezeichnet Ist die Große der zu messenden Spannung nicht bekannt, so wahlt man zweckmaßig zunachst den großten Meßbereich und geht erst bei entsprechend kleinem Zeigerausschlag durch Umlegen des rechten Anschlußdrahtes zu den kleineren Meßbereichen uber Das Umlegen des spannungfuhrenden Anschlußdrahtes muß naturgemaß mit der entsprechenden Vorsicht erfolgen Bei Hochspannung muß die Umschaltung in spannungslosem Zustande geschehen

Das Instrument gibt einen richtigen Zeigerausschlag in die Skala hinein, wenn die an der linken Klemme angegebene Polung des Instruments mit der Polung des Netzes ubereinstimmt Bei unbekannter Polung des Netzes kann man aus der Ausschlagrichtung des Zeigers die Pole des Netzes bestimmen Bei richtigem Ausschlag in die Skala hinein ist der an die linke Instrumentklemme angeschlossene Netzleiter stets ein Minuspol Bei Instrumenten mit eingebautem Stromwender gilt die an der linken Klemme angegebene Polung nur fur die senkrechte Normalstellung des Stromwendergriffes

Die Spannungsmesser werden mit eingebauten Meßbereichen bis 750 Volt ausgefuhrt Bei hoheren Spannungen sind außere Vorschaltwiderstande zu verwenden Da der in das Instrument eingebaute Stromwender ohne Stromunterbrechung arbeitet, kann er auch bei diesen hoheren Spannungen benutzt werden Man wird allerdings hierbei eine unmittelbare Beruhrung des Schaltergriffes gern vermeiden und zum Betatigen des Schalters einen besonderen, hochisolierten Handgriff verwenden

---

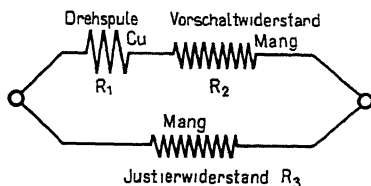
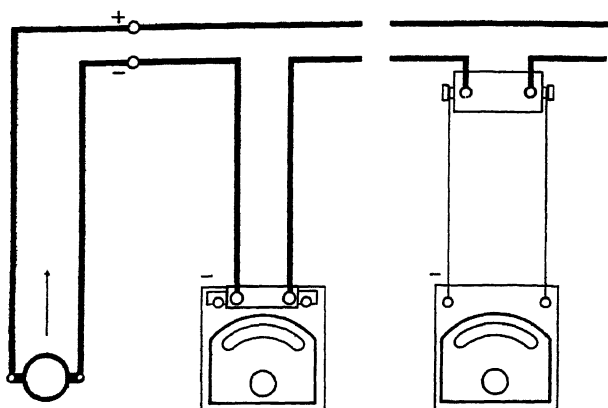
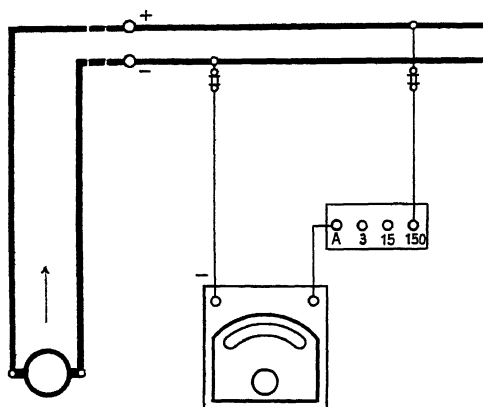
3. Einohm-Instrument.

Das Einohm-Instrument ist das klassische Prazisions-Instrument fur Gleichstrom Da der Widerstand 1 Ohm betragt, sind Strom und Spannung zahlenmaßig gleich groß und betragen fur den Endausschlag 150 Milliampere bzw Millivolt Der Temperaturkoeffizient des Instruments kann fur die meisten praktischen Falle vernachlassigt werden

Wird das Instrument in Verbindung mit außeren Nebenschlußwiderstanden zu Strommessungen benutzt, so betragt der Temperaturkoeffizient etwa 0,02 % fur 1° C Bei Verwendung des Instruments als Strommesser fur 150 Milliampere und als Spannungsmesser mit außeren Vorschaltwiderstanden betragt er dagegen nur etwa 0,006 % fur 1° C

a) Innere Schaltung

Die innere Schaltung des Einohm-Instruments ist auf Seite 263 abgebildet Die Drehspule liegt in Reihenschaltung mit einem Vorschaltwiderstande aus Manganin Parallel zu dieser Reihenschaltung liegt ein Justierwiderstand, der ebenfalls aus Manganin hergestellt ist

Der Temperaturkoeffizient des Instruments ist im wesentlichen durch das Verhaltnis Kupfer zu Manganin in den Widerstanden R_1 und R_2 gegeben Die Summe der Widerstande $R_1 + R_2$ ist durch die Bedingung festgelegt, daß der Spannungsabfall im Instrument moglichst klein sein muß Eine Vergroßerung des Manganinwiderstandes laßt sich daher nur auf Kosten des Widerstandes des Drehspul-Systems erreichen Die Drehspule ist deswegen nur aus wenigen Windungen starkeren Drahtes hergestellt, wobei allerdings der Systemstrom ent-

sprechend groß gewahlt werden mußte Immerhin wird bei dem verfugbaren kleinen Spannungsabfall das Verhaltnis Kupfer zu Manganin nicht so klein, daß die Anderungen des Gesamtwiderstandes vernachlassigt werden konnten Es bleibt noch ein kleiner positiver Temperaturkoeffizient bestehen Die Einwirkung dieses Temperaturkoeffizienten ist in der Weise beseitigt, daß man den Systemfedern durch passende Wahl des Materials einen annahernd gleichgroßen, negativen mechanischen Temperaturkoeffizienten gegeben hat Dann wird die durch Anderung des Widerstandes verursachte Anderung des Systemstromes durch eine entgegengesetzt wirkende Anderung der Federkraft kompensiert Auf diese Weise ist fur den Spannungsmeßbereich 150 Millivolt der niedrige Temperaturkoeffizient von 0,02% fur 1° C erreicht worden

Der Justierwiderstand R_3, der zur Justierung des Instruments auf einen bestimmten Strom (150 MA) dient, hat auf den Temperaturkoeffizienten des Spannungsmeßbereichs 150 Millivolt keinen Einfluß Denkt man sich das Instrument an einer konstanten Spannung, z B an den Klemmen eines Nebenschlußwiderstandes liegen, so wird es ohne weiteres klar, daß der Zeigerausschlag und somit seine Anderung lediglich durch das Verhalten des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ bestimmt ist Der im Nebenschluß R_3 fließende Strom hat mit der zu messenden Spannung nichts zu tun Ganz anders liegen jedoch die Verhaltnisse, wenn der vom Instrument aufgenommene Strom gemessen werden soll, d h wenn das gleiche Instrument als Strommesser fur 150 Milliampere verwendet wird In diesem Falle kommt es lediglich auf die Stromverteilung in den beiden parallelen Zweigen $R_1 + R_2$ und R_3 an Bei steigender Temperatur wird der Widerstand des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ wachsen, wahrend der Widerstand R_3 konstant bleibt Der Strom wird also gewissermaßen in den Widerstand R_3 hinubergedrangt Der Gesamtstrom in den beiden parallelen Zweigen $R_1 + R_2$ und R_3 muß hierbei unverandert bleiben, da es sich jetzt um einen Strommesser handelt, der einen bestimmten Strom messen soll

Äußere Schaltung des Einohm=Instruments als Strommesser,
links mit ansteckbarem Nebenschlußwiderstand,
rechts mit besonderen Zuleitungen

Äußere Schaltung des Einohm=Instruments als Spannungsmesser
mit Vorschaltwiderstand

Mit dem Anwachsen des Stromes im Widerstand R_3 wachst auch der Spannungsabfall in diesem Widerstand, also die Spannung an den Enden des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ Infolge dieser anwachsenden Spannung wird der Strom im Drehspulzweig bei ansteigender Temperatur nicht im gleichen Maße abfallen wie bei der Benutzung des Instruments als Spannungsmesser fur 150 Millivolt, da hierbei der Drehspulzweig an einer konstanten Spannung liegt Die Große der Stromanderung in $R_1 + R_2$ hangt von der Große des Widerstandes R_3 ab, je großer dieser ist, um so kleiner sind die Stromanderungen im Drehspulzweig $R_1 + R_2$ Wird R_3 unendlich groß, so wird die Stromanderung im Zweige $R_1 + R_2$ gleich Null Die Instrumentangaben wurden in diesem Falle nur noch von dem negativen mechanischen Temperaturkoeffizienten der Systemfedern abhangen Beim Einohm-Instrument liegen die Widerstandsverhaltnisse so, daß der positive elektrische Temperaturkoeffizient der Parallelschaltung nur sehr wenig großer ist als der negative mechanische Temperaturkoeffizient der Systemfedern Der Temperaturkoeffizient betragt daher fur den Strommeßbereich 150 Milliampere nur etwa 0 006 % fur 1° C

Dieser Temperaturkoeffizient gilt auch, wenn das Instrument in Verbindung mit außeren Manganin-Vorschaltwiderstanden als Spannungsmesser benutzt wird Die Große der verwendeten Vorschaltwiderstande hat hierbei auf den Temperaturkoeffizienten keinen wesentlichen Einfluß Da der Manganin-Vorschaltwiderstand im Verhaltnis zum Kupferwiderstand des Systems bei allen praktisch vorkommenden Meßbereichen sehr groß ist, kann der Gesamtwiderstand fur alle Spannungsmeßbereiche als unveranderlich angesehen werden Es ist daher lediglich die Stromverteilung im Instrument, also das Verhalten des Instruments als Strommesser fur den Temperaturkoeffizienten maßgebend

b) Außere Schaltung für Strommessungen.

Bei Strommessungen bis 150 Milliampere wird das Instrument unmittelbar in den Stromkreis eingeschaltet Beim Messen großerer Strome wird das Instrument in Verbindung mit außeren Nebenschlußwiderstanden benutzt Der Nebenschlußwiderstand wird hierbei in den Hauptstromkreis eingeschaltet, wahrend das Meßinstrument als Spannungsmesser an den Klemmen des Nebenschlußwiderstandes liegt Da der Spannungsmeßbereich des Instruments 150 Millivolt betragt, mussen auch die Nebenschlußwiderstande fur 150 Millivolt Spannungsabfall gewahlt werden

Fur Stromstarken bis 30 Ampere sind die Nebenschlußwiderstande mit Laschen versehen, so daß sie an das Instrument angesteckt werden konnen Die Nebenschlußwiderstande fur hohere Stromstarken werden durch besondere Zuleitungen mit dem Instrument verbunden Der Spannungsabfall in den normalen Zuleitungen zum Instrument wird in die Nebenschlußwiderstande eingeeicht Die Zuleitungen konnen daher nicht durch beliebige andere Leitungen ersetzt werden, sondern sind stets unverandert zu benutzen Der Widerstand der normalen Zuleitungen betragt etwa 0,0015 Ohm Da der Instrumentwiderstand nur 1 Ohm betragt, ist zur Vermeidung von Fehlern durch Ubergangswiderstande auf eine sorgfaltige Verbindung zwischen Nebenschluß und Instrument zu achten Alle Nebenschlußwiderstande sind beliebig vertauschbar, da die Instrumente auf einen Widerstand von genau 1 Ohm abgeglichen werden

Fur die verschiedenen Strommeßbereiche ergeben sich die folgenden Werte der Nebenschlußwiderstande

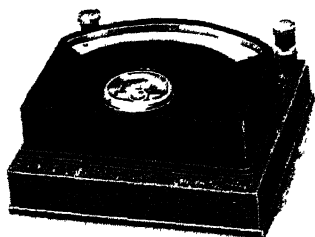
$^1/_4$ Ohm	fur	0,75	Amp	$^1/_{499}$ Ohm	fur	75	Amp
$^1/_9$,,	,,	1,5	,,	$^1/_{999}$,,	,,	150	,,
$^1/_{19}$,,	,,	3	,,	$^1/_{1999}$,,	,,	300	,,
$^1/_{49}$,,	,,	7,5	,,	$^1/_{4999}$,,	,,	750	,,
$^1/_{99}$,,	,,	15	,,	$^1/_{9999}$,,	,,	1500	,,
$^1/_{199}$,,	,,	30	,,				

c) Außere Schaltung fur Spannungsmessungen.

Bei Spannungsmessungen bis 150 Millivolt wird das Instrument unmittelbar an die Punkte angelegt, deren Spannungsunterschied gemessen werden soll Fur hohere Spannungen sind außere Vorschaltwiderstande erforderlich

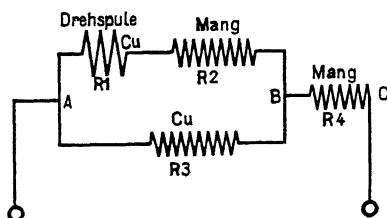
Bei Verwendung des Einohm-Instruments als Spannungsmesser ist zu beachten, daß der Stromverbrauch des Instruments 150 Milliampere betragt, also fur einen Spannungsmesser recht groß ist Man wird daher das Einohm-Instrument nur zum Messen kleinerer Spannungen verwenden Der Widerstand des Einohm-Instruments nebst Vorschaltwiderstand betragt fur **je 3 Volt 20 Ohm** Da das Instrument auf einen bestimmten Stromverbrauch abgeglichen ist, sind die Vorschaltwiderstande beliebig vertauschbar

4. Zehnohm-Instrument.

Das Zehnohm-Instrument ist das moderne Prazisions-Instrument fur Gleichstrom Es wird als Strommesser mit 45 Millivolt Spannungsabfall zum Anschluß an außenliegende Nebenschlußwiderstande und mit besonderer Spannungsklemme als Spannungsmesser fur 3 bzw 150 Volt

zum Anschluß an außere Vorschaltwiderstande ausgefuhrt Das Instrument zeichnet sich besonders durch seinen außerordentlich niedrigen Eigenverbrauch und durch seine Temperaturkompensation aus Durch die Temperaturkompensation ist erreicht worden, daß die Angaben des Instruments in allen Schaltungen vollstandig unabhangig von der Temperatur sind

a) Innere Schaltung und Temperaturkompensation

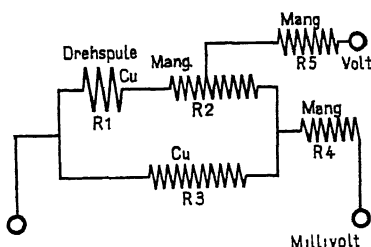
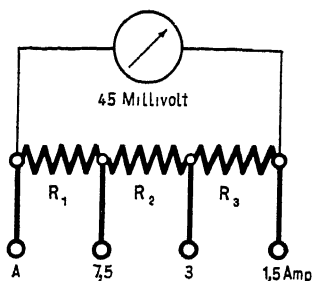
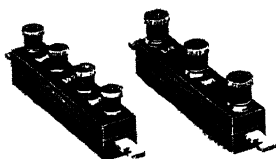
Die Kompensation des Temperatureinflusses ist durch eine eigenartige Kunstschaltung erreicht worden Das Wesentliche dieser Schaltung ist, daß der Kupfer- bzw Aluminiumwickelung der Drehspule zunachst ein Manganinwiderstand vorgeschaltet wird, so daß diese Reihenschaltung einen Temperaturkoeffizienten besitzt, der kleiner ist als der des Kupfers Parallel zu dieser Reihenschaltung liegt ein Kupferwiderstand, und vor der ganzen Kombination ein Manganinwiderstand ohne Temperaturkoeffizienten Die Wirkungsweise dieser nachstehend abgebildeten Schaltung ist folgende

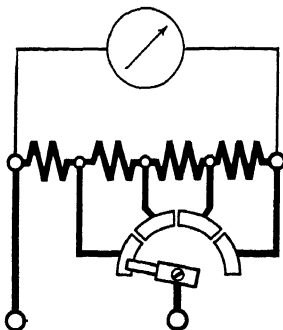
Bei ansteigender Temperatur wird der Kupferwiderstand R_3 infolge seines großeren Temperaturkoeffizienten schneller wachsen als der Widerstand des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ Infolgedessen wird der Strom bei steigender Temperatur gewissermaßen in den Drehspulzweig hinuber=gedrangt, so daß dann ein großerer Teil des Gesamtstromes in der Dreh=spule fließt als vorher Bei konstanter Spannung an den Punkten AB wurde daher der Strom in der Drehspule bei weitem nicht so stark abfallen wie der Strom im Widerstande R_3

Um es zu erreichen, daß der Strom in der Drehspule bei steigender Temperatur uberhaupt nicht abfallt, sondern konstant bleibt, ist es erfor=derlich, daß die Spannung an den Punkten AB anwachst Das Anwachsen der Spannung AB bei konstanter Gesamtspannung AC wird in einfacher Weise durch Vorschalten eines Manganinwiderstandes R_4 erreicht Da der Gesamtwiderstand der Schaltung infolge des Anwachsens der Widerstande R_1 und R_3 mit der Temperatur steigt, wird der Gesamtstrom, also der Strom im Widerstand R_4, bei ansteigender Temperatur fallen Der Spannungsabfall in R_4 wird also kleiner, somit wird die Teilspannung AB bei konstanter Gesamtspannung großer werden

Die Widerstande werden nun so berechnet, daß die Teilspannung AB bei steigender Temperatur im gleichen Maße anwachst wie der Widerstand des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ Dann wird der Strom in der Drehspule bei allen Temperaturen der gleiche sein, d h das Instrument gibt bei allen Temperaturen den gleichen Zeigerausschlag

Der zum Drehspulzweig parallel liegende Kupferwiderstand R_3 andert sich infolge seines hoheren Temperaturkoeffizienten rascher als der Widerstand des Drehspulzweiges $R_1 + R_2$ bzw als die Teilspannung AB,

der Strom im Widerstand R_3 wird daher bei steigender Temperatur trotz der anwachsenden Teilspannung AB abfallen. Der Betrag dieser Stromanderung muß nach dem Vorhergehenden gleich der Anderung des Gesamtstromes im Instrument sein.

Es ist recht wohl zu beachten, daß der Gesamtstrom bzw. der Gesamtwiderstand eines derart geschalteten Instruments nicht konstant sein kann, sondern sich in geringem Maße andern muß. Die Widerstandsanderung betragt bei dem Meßbereich 45 Millivolt etwa 0,15 % fur 1° Celsius. Es konnen daher fur ein solches Millivoltmeter nicht ohne weiteres Vorschaltwiderstande verwendet werden, es sei denn, daß diese denselben Temperaturkoeffizienten und dieselben Erwarmungsverhaltnisse besitzen wie die ganze Kunstschaltung.

Um fur **Spannungsmessungen** die Verwendung der gebrauchlichen temperaturfehlerfreien Vorschaltwiderstande aus Manganin zu ermoglichen, wird die Innenschaltung des Instruments derart abgeandert, daß der Zeigerausschlag bei konstantem Gesamtstrom von der Temperatur unabhangig wird. Dies laßt sich durch die bei Spannungsmessungen mogliche großere Manganinvorschaltung mit einer kleinen Abanderung der obigen Schaltung erreichen. Man zweigt eine besondere Spannungsklemme im Manganinwiderstand R_2 derart ab, daß der Temperaturkoeffizient der beiden so entstehenden parallelen Zweige gleich groß wird. Dann bleibt auch die Stromverteilung auf die beiden parallelen Stromzweige des Instruments bei allen Temperaturen die gleiche, und der Temperaturkoeffizient des Instruments wird lediglich durch das Verhaltnis Kupfer zu Manganin bestimmt. Man kann daher jetzt durch einfaches Vorschalten von Manganin (R_5) den Temperaturkoeffizienten des Instruments praktisch zum Verschwinden bringen.

Nebenschlußwiderstande zum Anstecken an das Zehnohm=Instrument,

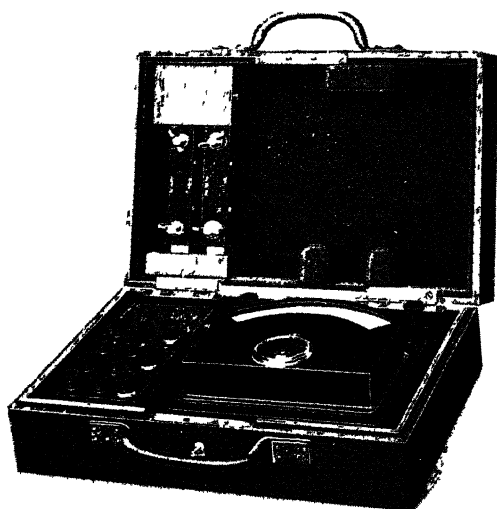
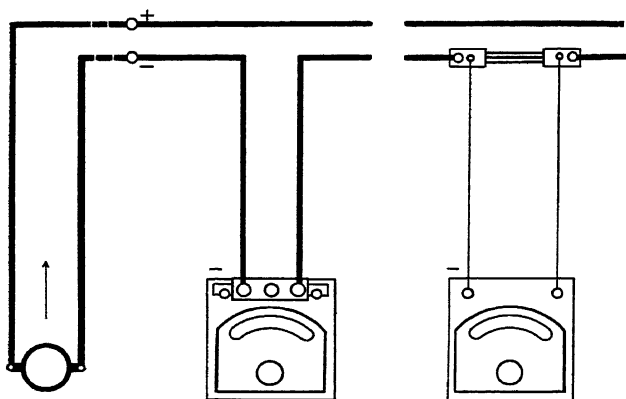
rechts die innere Schaltung Die verschiedenen Stromanschlusse ent=sprechen den Klemmen des Nebenschlusses

Kurbelnebenschluß mit besonderen Zuleitungen fur das Zehnohm=Instrument

Der Übergang von einem Meßbereich zum anderen erfolgt lediglich durch Drehen der Kurbel

b) Außere Schaltung fur Strommessungen

Bei Strommessungen wird das Instrument in Verbindung mit außeren Nebenschlußwiderstanden benutzt Der Nebenschlußwiderstand wird in den Hauptstromkreis eingeschaltet, das Meßinstrument liegt als Spannungsmesser fur 45 Millivolt an den Klemmen des Nebenschluß-widerstandes Der Widerstand des Instruments betragt fur den Meß-bereich **45 Millivolt 10 Ohm**, bei vollem Zeigerausschlag nimmt das Instrument einen Strom von 4,5 Milliampere auf Der hohe Widerstand des Instruments bietet den Vorteil, daß sich einerseits beim Anschluß an Nebenschlußwiderstande durch Übergangswiderstande nicht so leicht Fehler ergeben, andererseits aber werden die Nebenschlußwiderstande infolge des geringen Spannungsabfalles von 45 Millivolt klein, leicht und entsprechend billig

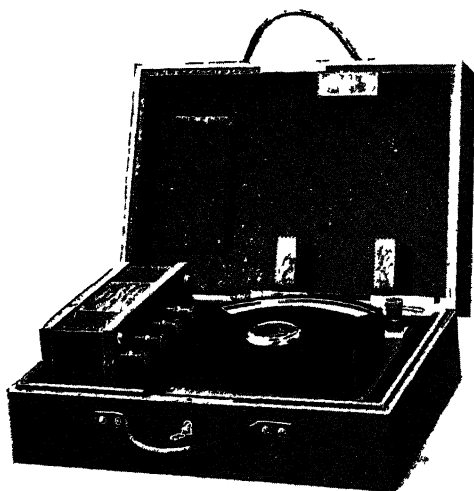
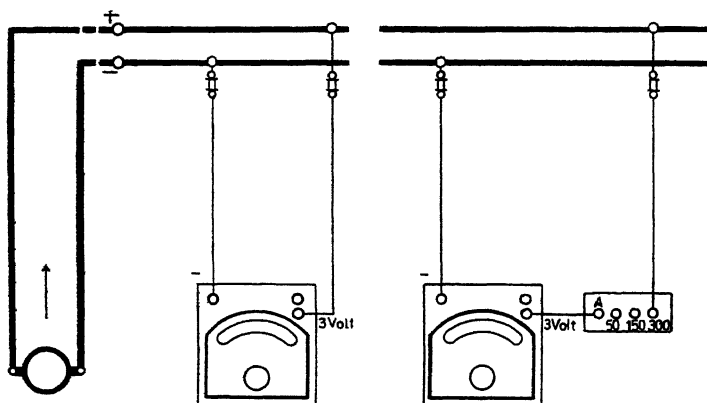
Die Nebenschlußwiderstande fur Stromstarken von 0,15 bis 150 Ampere werden zum Anstecken an das Instrument ausgefuhrt Fur Strome bis 30 Amp erhalten sie 2 bzw 3 Meßbereiche, fur hohere Stromstarken dagegen nur 1 Meßbereich

Die Innenschaltung der Nebenschlusse mit mehreren Meßbereichen ist nebenstehend abgebildet Bei dieser Schaltung liegen die Neben-schlußwiderstande fur alle Strommeßbereiche in Reihenschaltung Die Enden der Reihenschaltung sind als Anschlußlaschen ausgebildet und werden stets an die Klemmen des Meßinstrumentes angeschlossen Die Anschlusse fur den Hauptstromkreis sind als Klemmen ausgebildet Die Klemme *A* ist fur alle Meßbereiche gemeinsam, wahrend die anderen Klemmen je nach dem gewunschten Meßbereich gewahlt werden Die Wirkungsweise dieser Anordnung laßt sich an Hand des obenstehenden Schaltbildes leicht ubersehen Beim kleinsten Meßbereich, z B 1,5 Ampere, schließt man den Hauptstromkreis an die Klemmen *A* und 1,5 *A* an Es liegen demnach bei diesem Meßbereich alle Nebenschluß-widerstande in Reihe im Hauptstromkreis Der fur das Meßinstrument benotigte Spannungsabfall von 45 Millivolt tritt an den Enden der Reihenschaltung $R_1 + R_2 + R_3$, also zwischen den Klemmen *A* und 1,5 *A* auf Bei dem mittleren Meßbereich 3 Ampere wird der Hauptstromkreis an die Klemmen *A* und 3 *A* angeschlossen Es liegen demnach hierbei nur noch die Nebenschlußwiderstande $R_1 + R_2$ im Hauptstromkreis, wahrend der Widerstand R_3 als Vorschaltwiderstand vor das Instrument geschaltet ist Damit das Meßinstrument jetzt wieder die erforderlichen 45 Millivolt erhalt, mussen die Widerstande $R_1 + R_2$ so bemessen sein,

Zehnohm-Instrument nebst Zubehör für Strommessungen

Äußere Schaltung des Zehnohm-Instruments als Strommesser, links mit angestecktem Nebenschluß, rechts mit besonderen Zuleitungen

daß ihr Spannungsabfall um den Spannungsabfall in R_3 großer ist als 45 Millivolt Da aber jetzt der Widerstand R_3 nur von dem außerordentlich kleinen Instrumentstrom durchflossen wird, ist auch der in R_3 auftretende Spannungsabfall sehr klein Der bei der Strommessung zwischen den Klemmen *A* und 3 *A* auftretende Gesamtspannungsabfall ist daher nur unwesentlich großer als 45 Millivolt Bei dem hochsten Meßbereich 7,5 Ampere schließt man den Hauptstromkreis an die Klemmen *A* und 7,5 *A* an Dann liegt nur noch der Widerstand R_1 im Hauptstromkreis, wahrend die Widerstande $R_2 + R_3$ als Vorschaltwiderstande vor das Instrument geschaltet sind Der Spannungsabfall in R_1 muß daher um so viel großer als 45 Millivolt gewahlt werden, daß der Spannungsabfall in den jetzt nur von dem kleinen Instrumentstrom durchflossenen Widerstanden $R_2 + R_3$ gerade ausgeglichen wird Aber auch hierbei ist der bei der Strommessung zwischen den Klemmen *A* und 7,5 *A* auftretende Gesamtspannungsabfall nur unwesentlich großer als 45 Millivolt Die Mehrfach-Nebenschlußwiderstande brauchen daher auch nur unwesentlich großer bemessen zu werden als die Einzelwiderstande fur die gleichen Meßbereiche.

Um das Umlegen der Hauptstromleitungen beim Übergang auf einen anderen Meßbereich zu vermeiden, wird noch ein **Nebenschlußwiderstand mit Kurbelumschalter** nach Feußner ausgefuhrt, der fur Stromstarken von 1,5 bis 150 Amp bestimmt ist Dieser gestattet, ohne Stromunterbrechung von einem Meßbereich auf einen beliebigen anderen uberzugehen Die jeweilige Meßkonstante erscheint hierbei in großen Ziffern hinter einem Gehauseausschnitt, wahrend ein Zeiger die zugehorige Hochststromstarke angibt

Zum Messen von Stromstarken von 300 bis 3000 Ampere dienen einfache Nebenschlußwiderstande auf Holzsockel Beim Anschließen der Starkstromleitungen an diese ist besonders darauf zu achten, daß der Strom allen Starkstromklemmen des Nebenschlußwiderstandes gleichmaßig zugefuhrt wird Es ist keinesfalls zulassig, etwa bei Verwendung starkerer Kabel nur einen Teil der Anschlußklemmen zu verwenden, da dann die Genauigkeit der Messung durch die geanderte Stromverteilung im Nebenschluß verringert werden wurde

Die normalen **Zuleitungen** vom Nebenschlußwiderstand zum Instrument besitzen einen Widerstand von etwa 0,015 Ohm Bei dem verhaltnismaßig hohen Widerstand des Instruments (10 Ohm) sind

Zehnohm=Instrument nebst Zubehor fur Spannungsmessungen

Äußere Schaltung des Zehnohm=Instruments als Spannungsmesser, links fur Spannungen bis 3 Volt, rechts mit Vorschaltwiderstand fur hohere Spannungen

jedoch kleine Abweichungen von dem oben angegebenen Zuleitungswiderstand ohne wesentliche Bedeutung. Es können daher bei größerer Entfernung des Instruments vom Nebenschlußwiderstand ohne merklichen Fehler auch andere Zuleitungen von annähernd gleichem Widerstande benutzt werden. Sämtliche Nebenschlüsse sind beliebig vertauschbar, d. h. sie können ohne weiteres zu jedem Zehnohm-Instrument verwendet werden.

c) Äußere Schaltung für Spannungsmessungen

Bei Spannungsmessungen wird das Instrument an die Punkte angelegt, deren Spannungsunterschied gemessen werden soll. Für Spannungen über 45 Millivolt wird das Instrument mit einer abgeänderten Innenschaltung benutzt, die eine **besondere Anschlußklemme** erforderlich macht (vgl. Seite 269). Diese Spannungsklemme entspricht zumeist einem Meßbereich von 3 Volt. Der Endausschlag des Zeigers wird hierbei schon bei 3 Milliampere erreicht. Der Widerstand des Spannungsmessers beträgt also **für 3 Volt genau 1000 Ohm**.

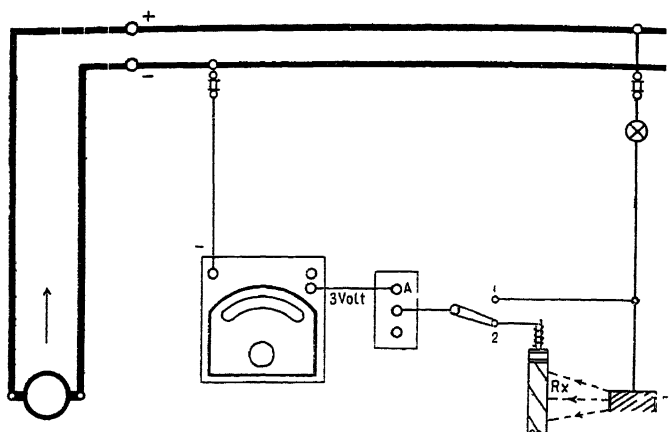
Für höhere Spannungen als 3 Volt wird das Instrument in Verbindung mit äußeren Vorschaltwiderständen benutzt. Da der Widerstand für je 3 Volt genau 1000 Ohm beträgt, sind die Vorschaltwiderstände beliebig vertauschbar.

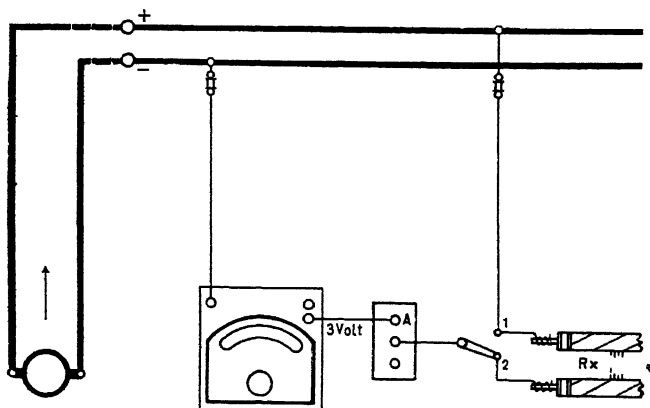
d) Äußere Schaltung für Isolationsmessungen

Da das Zehnohm-Instrument als Spannungsmesser einen sehr hohen Widerstand hat, ist es auch für Isolationsmessungen gut geeignet.

Bei der **Isolationsmessung eines Leiters gegen Erde** ist zu beachten, daß der Isolationsstrom stets aus der Erde nach dem zu prüfenden Leiter hinfließen muß. Es ist daher der +-Pol des Stromerzeugers an Erde zu legen (vgl. Verbandsvorschriften). Es ergibt sich dann das obere Schaltbild auf Seite 276.

Steht der Umschalter auf Stellung 1, so zeigt das Instrument die Spannung E_1 an. Bringt man den Umschalter auf Stellung 2, so liegt der Isolationswiderstand R_x in Reihenschaltung mit dem Spannungsmesser. Der Spannungsmesser zeigt hierbei einen kleineren Ausschlag E_2. Aus den beiden gemessenen Werten E_1 und E_2 läßt sich der Isolationswiderstand R_x berechnen, wenn der Widerstand R des Spannungsmessers bekannt ist. Der Isolationswiderstand beträgt

$$R_x = \frac{R}{1000}\left(\frac{E_1}{E_2} - 1\right) \quad \text{Kilo-Ohm.}$$

18

Äußere Schaltung des Zehnohm=Instruments als Isolationsmesser
Isolationsmessung eines Leiters gegen Erde

Äußere Schaltung des Zehnohm=Instruments als Isolationsmesser
Isolationsmessung zweier Leiter gegeneinander

Ausschlag E_2 Skalenteile	Isolationswiderstand R_x bei $E_1 = 110$ Volt Kilo-Ohm	$E_1 = 220$ Volt Kilo-Ohm
0,55	10000	20000
1,1	5000	10000
1,8	3000	6000
2,7	2000	4000
5,2	1000	2000
10	500	1000
12	400	800
16	300	600
18	250	500
22	200	400
28	150	300
34	**110**	**220**
37	100	200
39	90	180
42	80	160
46	70	140
50	60	120
55	50	100
58	45	90
61	40	80
65	35	70
69	30	60
73	25	50
79	20	40
85	15	30
92	10	20
100	5	10
110	0	0